



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

Estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*).

**CORDOVA NOLE KEVIN OSWALDO
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

Estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*).

**CORDOVA NOLE KEVIN OSWALDO
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

EXAMEN DE GRADO O FIN DE CARRERA DE CARÁCTER COMPLEXIVO

Estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*).

**CORDOVA NOLE KEVIN OSWALDO
INGENIERO ACUICOLA**

RIVERA INTRIAGO LEONOR MARGARITA

**MACHALA
2023**

Estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*)

por Kevin Oswaldo Córdova Nole

Fecha de entrega: 05-oct-2023 10:41 a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2186533758

Nombre del archivo: TRABAJO_DE_KEVIN_C_RDOVA.docx (1.9M)

Total de palabras: 5944

Total de caracteres: 34414

Estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10%

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CORDOVA NOLE KEVIN OSWALDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CORDOVA NOLE KEVIN OSWALDO

1150502902

UNIVERSITAS
MAGISTRORUM
ET SCHOLARUM

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en identificar las estrategias e importancia de la biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de *Litopenaeus vannamei* mejorando las condiciones del agua y suelo y por lo tanto las concentraciones de oxígeno disuelto disponible para el crecimiento y salud de los camarones.

La degradación de la materia orgánica es un proceso esencial para mantener la calidad del agua en los estanques camaroneros. Cuando los desechos orgánicos se acumulan, pueden afectar negativamente la salud de los organismos de cultivo y el ecosistema acuático en general, sin embargo, una degradación eficaz de estos desechos puede marcar la diferencia.

La biorremediación es una técnica innovadora que utiliza organismos vivos para eliminar o reducir contaminantes en el medio, en el caso de la industria camaronera se trata de un enfoque prometedor para mitigar los impactos negativos de la acuicultura en los ecosistemas marinos, la biorremediación no sólo ayuda a mantener el equilibrio ecológico de los ecosistemas marinos, sino que también contribuye a la producción de camarones más saludables, al promover un entorno acuático limpio, se reducen los riesgos de enfermedades y se mejora la calidad de los camarones cultivados de forma sostenible.

Palabras clave: biorremediación, sostenible, degradación.

ABSTRACT

This research focuses on identifying the strategies and importance of bioremediation in soil and water in intensive *Litopenaeus vannamei* cultures, improving soil and water conditions and therefore the concentrations of dissolved oxygen available for the growth and health of shrimp.

The degradation of organic matter is an essential process to maintain water quality in shrimp ponds. When organic waste accumulates, it can negatively affect the health of culture organisms and the overall aquatic ecosystem, however, effective degradation of this waste can make a difference.

Bioremediation is an innovative technique that uses living organisms to eliminate or reduce contaminants in the environment. In the case of the shrimp industry, it is a promising approach to mitigate the negative impacts of aquaculture on marine ecosystems. Bioremediation not only helps maintain the ecological balance of marine ecosystems, but also contributes to the production of healthier shrimp by promoting a clean aquatic environment, reducing disease risks and improving the quality of sustainably farmed shrimp.

Keywords: bioremediation, sustainable, degradation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. DESARROLLO	7
2.1 Sistemas de producción	7
2.1.1 Sistemas Extensivos	7
2.1.2 Sistemas Semi-intensivos	8
2.1.3 Sistemas Intensivos	8
2.1.4 Sistemas Super-intensivos	9
2.2 Importancia de la calidad del suelo y agua en cultivos acuícolas	10
2.3 Calidad del agua en cultivo de camarón	10
2.4 Calidad del suelo en cultivo de camarón	11
2.5 Biorremediación	12
2.5.1 Definición.....	12
2.5.2 Técnicas consideradas de biorremediación en suelo y agua de piscinas camaroneras	12
2.5.2.1 Uso de Nitrato de Sodio y Silicatos	13
2.5.2.2 Salvado de arroz con cepas probióticas	14
2.5.2.3 Aplicación de Probióticos.....	14
2.5.2.4 Uso de microorganismos en la biorremediación	15
2.5.2.4.1 <i>Bacillus firmus</i>	16
2.5.2.4.2 <i>Bacillus oceanisediminis</i>	17
2.5.2.4.3 <i>Candida cretensis</i>	17
2.5.2.5 Enzimas usadas para biorremediación en acuicultura	18
2.5.2.6 Biorremediación de agua con microalgas	19
2.5.3 Importancia de la biorremediación en acuicultura	20
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
4. BIBLIOGRAFÍA.....	22

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. SISTEMAS EXTENSIVOS.	7
ILUSTRACIÓN 2. SISTEMAS SEMI-INTENSIVOS.	8
ILUSTRACIÓN 3. SISTEMAS INTENSIVOS.	9
ILUSTRACIÓN 4. SISTEMAS SUPER-INTENSIVOS DE CAMARÓN BLANCO.	9
ILUSTRACIÓN 5. BIORREMEDIACIÓN DE FONDOS	12
ILUSTRACIÓN 6. APLICACIÓN DE UN MIX BACTERIANO EN ESPEJO DE AGUA.	13
ILUSTRACIÓN 7. DOSIS RECOMENDADA DE NANO₃ PARA SUELOS.	14
ILUSTRACIÓN 8. PROBIÓTICOS COMERCIALES PARA BIORREMEDIACIÓN DE SUELO Y AGUA.	15
ILUSTRACIÓN 9. TIPOS DE ENZIMAS UTILIZADAS EN BIORREMEDIACIÓN EN ACUICULTURA.	18

1. INTRODUCCIÓN

La industria acuícola durante las últimas décadas ha evolucionado notoriamente, destacándose así en los mercados internacionales, lo cual ha generado un valor agregado a razón de las exportaciones, así mismo provee de fuentes de trabajo hecho que beneficia a la población, aun cuando hay competitividad por los precios que los demás países imponen (Ullsco et al., 2021).

Desde los inicios de la actividad acuícola, uno de los mayores problemas que se ha presentado es el exceso de materia orgánica generada por las excretas de los organismos, a causa de una alimentación excesiva y por uso de otros insumos suministrados al medio de cultivo. Las grandes cantidades de nitrógeno que se generan en relación con la capacidad de asimilación de los estanques, ha provocado que la calidad del agua se vea afectada a causa de la acumulación de las diferentes formas del nitrógeno inorgánico (amoníaco, amonio, nitrito y nitratos), resultando tóxicos para los organismos, lo cual influye a su vez en la cantidad de oxígeno disuelto disponible, pH, y, fomentado el desarrollo de comunidades de microorganismos no deseados (Navarrete et al., 2022).

Los compuestos nitrogenados y la materia orgánica procedentes de la interacción agua-suelo, y aquellos compuestos degradados originados por el alimento suministrados al sistema de producción, producen impactos ambientales negativos en el interior de los estanques de cultivo, afectando las condiciones del suelo, la calidad química del agua, la biodiversidad, y el bienestar de los organismos, produciendo problemas de contaminación, lo que consecuentemente al ser tratados químicamente genera un desbalance entre los diferentes parámetros fisicoquímicos, tal es la razón por la cual se busca la aplicación de otras alternativas no contaminantes. Se considera que las estrategias no contaminantes destinadas a desplazar o disminuir los metabolitos tóxicos y la concentración de materia orgánica son parte de las buenas prácticas de manejo, siendo la biorremediación una de las técnicas mayormente empleadas en el campo de la acuicultura, la cual se define como una tecnología que emplea microorganismos tales como hongos, levaduras y bacterias, que, mediante su potencial metabólico pueden transformar compuestos tóxicos a compuestos menos tóxicos (Torres, 2019).

Por ello, es indispensable aumentar los índices de productividad, sobre todo en aquellos sistemas de provisión de alimentos. Esto no quiere decir que solo se deba producir de una manera exuberante, sino que deber ir acompañado de buenas prácticas de

manejo, obteniendo así un menor impacto en el medio y un mayor rendimiento, realizándolo de una competitiva y sostenible (Berger, 2020).

En base a lo descrito anteriormente, se ha realizado una revisión bibliográfica con el objetivo de establecer las estrategias e importancia de biorremediación en suelos y agua en cultivos intensivos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*).

2. DESARROLLO

2.1 Sistemas de producción

Existen diferentes tipos de sistemas de producción para llevar a cabo un cultivo de organismos acuáticos, dichos sistemas se encuentran en relación con la densidad de siembra, es decir, el número de especies acuáticas por superficie y el tipo de alimentación a emplear. Dentro del sector acuícola se distinguen 3 sistemas de cultivo principales: extensivo, semi-intensivo, e intensivo (Guevera y Vélez, 2022).

Según Parrado (2016), el sector acuícola ha progresado considerablemente, con respecto a la implementación de nuevas tecnologías y nuevas especies potenciales para cultivo, apostando toda la atención en aquellos sistemas de producción super-intensivos para la explotación de peces o crustáceos.

2.1.1 Sistemas Extensivos

Se caracteriza por ser realizada en cuerpos de aguas naturales, con bajas densidades de siembra que va de entre 4 – 10 cam/m², siendo limitada su capacidad de producción por las condiciones del medio natural, alcanzando una tasa de supervivencia del 50%. Para su ejecución se emplean poblaciones naturales, y se aprovecha el alimento autóctono del medio para su crecimiento y engorde, sin embargo, no existe un control respecto a las condiciones o variables del cultivo. Dado que son cuerpos de aguas naturales, existe la presencia de otros organismos que pueden ser considerados como depredadores o competidores de la especie a producir, afectando significativamente el rendimiento de los cultivos extensivos (Del Río et al., 2016)



Ilustración 1. Sistemas Extensivos **Fuente:** Biobac

2.1.2 Sistemas Semi-intensivos

Según Palacios (2016), los sistemas semi-intensivos son uno de los sistemas de producción mayormente utilizados en Latinoamérica, ya que se puede tener un control parcial de las variables del cultivo. Por otra parte, la alimentación de los organismos acuáticos se basa en el uso de alimento artificial (balanceado) y alimento natural, para este último se utilizan fertilizantes para incrementar su productividad dentro de los estanques. Para este sistema se emplean postlarvas provenientes de los laboratorios debido a su alta calidad, ya que suelen estar libres de microorganismos patógenos, aumentando así la eficiencia del cultivo. Algunos de los productores manejan los sistemas por fases, siendo los precriaderos de uso más común, llevando a las postlarvas a un tamaño de 0.6 - 1gr durante 10 a 45 días, dicho proceso mejora los rendimientos finales de la producción, aumentando la tasa de supervivencia y crecimiento de los juveniles.



Ilustración 2. Sistemas semi-intensivos. **Fuente:** Palacios (2016)

Las densidades de siembra que se manejan en los cultivos semi-intensivos van desde 8 a 20 organismos/m², con producciones de 500 a 5.000 kg/ha/año en 2 a 2.5 ciclos. Por lo general, el tamaño de los estanques de cultivo es de 1 y 15 hectáreas, y se realizan recambios de agua diarios del 5 a 10% del volumen total de agua de los estanques, con el fin de mantener una buena oxigenación y remover los desperdicios. No obstante, las grandes cantidades de materia orgánica que puede generar el sistema en los efluentes pueden causar un impacto negativo en el medio ambiente (Palacios, 2016).

2.1.3 Sistemas Intensivos

El cultivo es realizado en estanques pequeños de entre 0.1 – 2 ha, estos pueden ser de tierra o pueden ser recubiertos con geomembrana, su densidad de siembra es de 40 – 140 organismos/m², llegando a producir 5.000 – 15.000 kg/ha, indicando el alto

rendimiento del sistema de producción. Además, se caracteriza por el uso de aireación continua, altas tasas de recambio de agua, fertilización constante, y un tipo de alimentación suplementaria (Hernández, 2016).



Ilustración 3. Sistemas intensivos.
Fuente: Hernández (2016).

2.1.4 Sistemas Super-intensivos

Como señala Noguera (2020), los cultivos super-intensivos son aquellos sistemas que cuentan con la tecnología más completa haciendo referencia a la parte operativa de la producción, entre ellos: manejo técnico, calidad de agua, sanidad, y administración. En cuanto al manejo técnico, es indispensable contar con profesionales especializados en el área a cargo, de igual manera, el personal operativo debe ser capacitado de forma constante. Con respecto a la infraestructura física del sistema, los cultivos se practican en tanques de pequeñas dimensiones, ya sea plástico o concreto, cuentan con aireación permanente, monitoreo de la calidad de agua, y control de enfermedades.



Ilustración 4. Sistemas super-intensivos de camarón blanco

Fuente: Labomersa (2020)

El rendimiento de este cultivo es superior en comparación con los sistemas mencionados anteriormente, teniendo la ventaja de hacer uso mínimo del agua para remover los contaminantes presentes en el agua de cultivo. El empleo de los sistemas de biofloc y sistemas heterotróficos permiten incrementar la densidad de siembra hasta 500 cam/m³, resultando en una productividad de 5kg/m³ por ciclo, debido a que se tiene un mayor control sobre los parámetros sanitarios, zootécnicos, y de calidad de agua (Noguera, 2020).

2.2 Importancia de la calidad del suelo y agua en cultivos acuícolas

El manejo de la calidad de agua en los estanques de tierra ha sido uno de los aspectos más estudiados dentro de la industria acuícola, sin embargo, no se les ha dado la misma importancia a los sólidos presentes en el cultivo. Se ha evidenciado que la interacción de sustancias que hay entre el agua y el fondo y la condición de los sólidos, repercute en la calidad de agua. Por tanto, los procesos fisicoquímicos y biológicos que suceden en el suelo influyen en la calidad de agua, siendo los problemas en los fondos del estanque la causa principal de la mayoría de complicaciones en la calidad de agua (Robles, 2018).

2.3 Calidad del agua en cultivo de camarón

Debido a la evolución y expansión del sector acuícola, uno de sus mayores desafíos es la presión que se puede generar en el medio a causa de la intensificación de los sistemas de producción, afectando desfavorablemente la calidad del agua, y desarrollándose enfermedades, lo que consecuentemente perjudica el rendimiento de los organismos en cultivo (Robles, 2018).

Entre los principales parámetros a considerar cuando nos referimos a la calidad del agua de un estanque para cultivo de camarón se encuentran los siguientes: pH, oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, salinidad, alcalinidad, materia orgánica y partículas disueltas, compuestos metabólicos, y nutrientes sobre todo el fósforo y nitrógeno. Manteniendo los parámetros de calidad de agua en rangos adecuados dentro del estanque se puede lograr un correcto crecimiento y supervivencia de los organismos cultivados (Hernández, 2016).

El nitrógeno amoniacal total (TAN) juega un rol fundamental en la calidad del agua, siendo generado principalmente por el metabolismo de los organismos, resultando su contenido altamente tóxico para los mismos. La cantidad de TAN que se puede

producir en el estanque va en relación al alimento suministrado a las especies en cultivo y al porcentaje de proteína del alimento balanceado proporcionado (Romano Moyano, 2020).

2.4 Calidad del suelo en cultivo de camarón

De acuerdo con Arias y Morán (2020), se va a generar una interacción directa en la variación de los factores físicos y químicos del suelo del estanque, según sea el tipo de sistema de producción a ejecutar, así mismo, el impacto que se produzca en el medio ambiente va a depender de la cantidad y calidad de los insumos empleados. Ciertas condiciones del suelo pueden provocar daños en los procesos fisiológicos del camarón, entre ellos, disminución del crecimiento, estrés, debilidad, y mayor susceptibilidad ante las enfermedades, lo cual hace que se incremente la tasa de mortandad del animal, resultando en pérdidas económicas para el productor a causa de un bajo rendimiento productivo.

El suelo de los estanques acuícolas se caracteriza por una combinación de partículas orgánicas, minerales, microorganismos y agua. Entre las partículas orgánicas se encuentran organismos en descomposición (animales y plantas), sirviendo como sustrato para otros microorganismos tales como las bacterias, hongos y microalgas bentónicas. Mientras que la parte de los minerales se compone por arcilla, limo, arena fina, y arena gruesa. Por último, el humus que se crea en la interfase suelo-agua, es el producto final a causa de la degradación de la materia orgánica, otorgándole cierto grado de fertilidad al suelo (Vinatea, 2021). Además, las características que posee el suelo (porosidad, textura, consistencia y estructura) indican si es adecuado para la construcción de estanques acuícolas.

Las propiedades fundamentales que ayudan a determinar la calidad del suelo son: permeabilidad, humedad, y textura, puesto que dichos factores ayudan a establecer el comportamiento estructural del mismo. Se evidenció que los suelos destinados a la actividad acuícola deben contener entre un 2 a 6 % de humedad, y un 7 a 8.5 de pH, en cuanto a la textura del suelo, esta puede evaluarse con ayuda de tamizadores o mediante ensayos de campo (lanzamiento de la bola) con el fin de obtener la permeabilidad, estabilidad, y rigidez requerida. Por otra parte, se hace uso de métodos físicos o químicos para conocer la calidad y el estado en que se encuentra el suelo, los cuales ayudan a

determinar el contenido de MO, contenido de azufre, potencial redox, potencial de hidrógeno, entre otros (Arias y Morán, 2020).

2.5 Biorremediación

2.5.1 Definición

La biorremediación se puede definir de varias maneras, puede ser un proceso biológico en donde se degrada la materia orgánica presente en un estanque acuícola en condiciones controladas, o puede definirse como el uso de microorganismos benéficos que tienen como objetivo eliminar las sustancias nocivas del medio acuático y transfórmalas en sustancias menos tóxicas. Es importante recalcar que no todos los contaminantes pueden ser degradados con facilidad con el uso de microorganismos vivos, entre ellos está el hierro, cadmio, entre otros. Para que los microorganismos actúen de manera eficaz durante el tratamiento, estos deben atacar enzimáticamente a las sustancias del medio y así convertirlos en compuestos inofensivos para las especies cultivadas (Gavino, 2017).



Ilustración 5. Biorremediación de fondos
Fuente: Camaronera ESTEREOMAR (2022).

2.5.2 Técnicas consideradas de biorremediación en suelo y agua de piscinas camaroneras

Los sistemas de producción intensivos cuentan con un mayor rendimiento y control, por lo general se realiza en piscinas o tanques, para ello cuentan con sistemas de captación junto con un control completo del medio acuático y de los organismos en cultivo. Por ello, el agua del medio debe ser manejada correctamente, empleando tratamientos que ayuden a mantener el buen estado de la calidad del agua de un cultivo

de camarón, puesto que los organismos no toleran una exposición de TAN >2 mg/L a largo plazo, y en el caso del amoníaco debe ser <0.1 mg/L (Romano, 2020).

De acuerdo con Gavino (2017), para que un proceso de biorremediación se lleve a cabo de la manera correcta, debe de haber las condiciones favorables que ayuden al crecimiento y desarrollo normal de la actividad de los microorganismos, esto se consigue mediante la manipulación de ciertos factores ambientales que intervienen directamente en el desarrollo bacteriano y en la degradación de los contaminantes presentes en el medio. La biorremediación biológica puede ser implementada en el lodo, suelo, espejo de agua y en los reservorios.



Ilustración 6. Aplicación de un mix bacteriano en espejo de agua.
Fuente: Kevin Córdova- Camaronera SUFALYNG (2022).

2.5.2.1 Uso de Nitrato de Sodio y Silicatos

La combinación de Nitrato de Sodio con Silicatos puede llegar a tener un uso beneficioso en las piscinas de producción, ayudando a mejorar de manera notable los problemas de hierro, pH y ORP, lo cual contribuye a una mejor profundidad de la capa oxidativa. Al momento de ocurrir esto, reduce el intercambio de sustancias nocivas con la columna de agua, esto aporta un beneficio para el cultivo. Por otra parte, esto indica que un aporte adecuado del uso de sodio y silicatos tiene un gran beneficio el suelo de las piscinas, ayudando a su remediación (Robles, 2018).

Dosificación Recomendada		
Dosis Kilos/Hectárea	Aplicación	Frecuencia
Arranque 25-50	Como promotor de	1 vez a inicio
Mantenimiento 10-20	fitoplancton	Cada 15 días
10 - 20	Para controlar cianofitas	Aplicar cuando sea necesario
0,25 a 0,50	Como tratamiento de suelo (Iodos)	Antes de la siembra

Ilustración 7. Dosis recomendada de NaNO₃ para suelos.
Fuente: Marlumar.

2.5.2.2 Salvado de arroz con cepas probióticas

Para remplazar el uso de melaza en la acuicultura, en la actualidad, se conoce diferentes fuentes de carbono; sin embargo, la aplicación de este va a estar de la mano de su disponibilidad, factibilidad, costos y efectos que pueda ejercer en el cultivo. Uno de los productos de bajo costos que son altamente usados son los cereales, en los que puede destacar el salvado de arroz. En el sector acuícola este producto es usado para poder tener un mejor equilibrio en el balance de carbono: nitrógeno, esto ayuda aumentar los niveles de actividad heterotrófica que se produce por las comunidades bacterianas. La reducción de amonio en el agua es uno de los principales efectos que se espera al aplicar estos productos, mediante la asimilación bacteriana. Por otro lado, el carbono al no estar del todo disponible puede llegar a afectar la capacidad para elevar la asimilación de amonio, siendo esta baja. Se ha sugerido que solubilizar los compuestos con salvado puede aportar una mejora considerable en los tratamientos. El cereal de salvado de arroz que es fermentado con *Bacillus spp.* ha resultado ser una de las herramientas más favorables en el campo acuícola, ayudando a una mejor reducción de compuestos nitrogenados, que pueden ser originarios en la producción, por ejemplo, producción intensiva y semi-intensiva (Salvador, 2019).

2.5.2.3 Aplicación de Probióticos

El aporte de bacterias Gram positivas no solo está relacionada con la salud del intestino del animal, se ha podido demostrar y comprobar que estas pueden también tener un efecto biorremediador, lo que ayuda a tener un mejor ecosistema acuático en donde se

están cultivando los animales. Al ampliar la modulación microbiana se las puede llegar adicionar de manera directa en los estanques, mejorando la degradación de los residuos (sulfuro de hidrógeno, nitrito, amoníaco) contribuye a elevar la mineralización de la MO, reduciendo las condiciones anaeróbicas en el sedimento, disminuyendo el almacenamiento de lodos. Existen diferentes tipos de organismos que se los puede llegar a emplear en los procesos de biorremediación, entre los que más destacan son los microorganismos (hongos, bacterias y algas) siendo así, las bacterias una de las más usadas, debido a su alta capacidad metabólica. Las bacterias pueden degradar cualquier cosa, además de tener la capacidad de poder reducir o eliminar contaminantes en lugares con la presencia de oxígeno (Fuentes et al., 2018).



Ilustración 8. Probióticos comerciales para biorremediación de suelo y agua.
Fuente: Kevin Córdova- Camaronera SUFALYNG (2022).

2.5.2.4 Uso de microorganismos en la biorremediación

De acuerdo con Martínez et al (2014), se encuentra comprobado que solo un 22% del nitrógeno que es ingresado a un cultivo es transformado en biomasa, un 14% es incorporado al suelo, un 3% se desaprovecha por volatilización, mientras que el restante es dispersado a diferentes tipos de afluentes y ambientes. La materia orgánica se puede degradar de manera eficiente bajo condiciones anaeróbicas y aerobias mediante los microorganismos, de esta manera, también se puede llegar a amenguar las cantidades de fósforo y compuestos nitrogenados (mediante las microalgas) hidrocarburos, metales y diferentes tipos de componentes que resulten dañinos para los ecosistemas acuáticos, así como también para las especies que se encuentren habitando en el mismo.

En la acuicultura existen diferentes tipos de usos para las microalgas, se las ha llegado a usar en los tratamientos de descargas de aguas residuales, tratamiento de afluentes y remoción de metales pesados. Gracias a esto han sido aprovechadas de manera benéfica por el hombre como biorremediadores de ambientes acuáticos. El uso de los biofiltros como biorremediadores en diferentes sectores acuícolas es bastante común, ya que ayuda al rehúso de los afluentes. Estos filtros biológicos se basan en el uso de bacterias nitrificantes, las cuales se mantienen adheridas en diversos tipos de sustratos para luego transformar el nitrógeno amoniacal, el cual es nocivo para las especies acuáticas. El NH_3 es transformado a nitratos, el cual inofensivo en concentraciones altas. Los bioflóculos y biomoléculas son consorcios microbianos asociados, que también han tenido un gran impacto en el tratamiento de afluentes acuícolas (Martínez et al., 2014).

A pesar de existir una diversidad bastante amplia de especies microbianas que tienen la capacidad de poder producir la nitrificación y desnitrificación, no todas son idóneas para la biorremediación. *Thiobacillus sp* y *Paracoccus* han sido unas de las especies que han generado un interés debido a sus altos índices de degradabilidad, sin embargo, *Bacillus spp.* tiene la capacidad de poder realizar diferentes funciones, como lo es una mejora de las fuentes de agua. Las bacterias nitrificantes usan la materia orgánica como su principal nutriente, lo que provoca una gran reducción de sedimentos acumulados en los estanques, reduciendo de manera importante el desarrollo de compuestos tóxicos en el ecosistema. Existen bacterias que pueden reducir el ácido sulfhídrico, teniendo como resultados una mejor calidad de agua y una mejora del olor del suelo. El mejoramiento de estos factores nos brinda un mejor ambiente acuático, pudiendo así tener mejores tasas de crecimiento y sobrevivencia (Santos, 2014).

2.5.2.4.1 *Bacillus firmus*

Según González-León et al (2022), una de las grandes ventajas que tiene usar el género *Bacillus* es el metabolismo acelerado que poseen estas bacterias, al poseer una gran versatilidad tienen la capacidad de poder ejecutar la fijación de nitrógeno. Se conoce a la fijación biológica de nitrógeno como el proceso microbiano, en donde el nitrógeno atmosférico se disminuye, llegando a amonio para después ser incorporado a la biomasa, lo cual se llega a transformar como una de las principales fuentes de nitrógeno que utilizan las plantas. Dado que la sostenibilidad de la productividad del sueño puede llegar a ser complicada, este suceso puede llegar a ser bastante útil, ya que es una de las grandes

estrategias científicas, como la obtención de productos que ayuden a aplicarse y así tener una mejor acuicultura sostenible y amigable con el medio ambiente.

Dado el caso que, esta bacteria posee grandes características y perspectivas en cuando a su uso, se han llegado a emplear de manera exitosa como probióticos en la producción de camarón. Un correcto uso de estos microorganismos puede ayudar de diferentes formas en la producción, además de tener un mejor control con las enfermedades, también nos permite tener una calidad de agua optima, la cual se logra ver afectada por la acumulación de metabolitos tóxicos y materia orgánica que se encuentra alojada en el suelo. Esto los convierte en un probiótico acuícola con un gran potencial y de altas perspectivas. Sin embargo, pese a tener diferentes tipos de estudios que se enfoquen en la gran capacidad que tienen estas bacterias para poder mejorar la calidad de agua y a su vez servir como interferencia del Quorum sensing, existen nulos o pocos estudios que indiquen los mecanismos de manera específica que puedan ayudar a los camarones, lo cual es una desventaja, dado el caso que resulta de gran interés saber la acción probiótica que esta bacteria ofrece, además de los beneficios en la camaronicultura (González-León et al., 2022).

2.5.2.4.2 *Bacillus oceanisediminis*

En diferentes analisis que han sido estudiados los microorganismos sobre su aislamiento de mangle con cualidades biorremediadoras para la produccion del camaron blanco del Pacifico, se ha podido encontrar al *Bacillus oceanisediminis* como uno de los principales microorganismos con mayor capacidad benefica, llegando a mejorar la calidad de agua de los cultivos. Esto se debe que, al ser una bacteria aerobia facultativa y Gram positiva con sistemas fosfotranferasas, le faculta tener fuentes de carbono como maltosa, manitol, fructosa y glucosa, haciendola asi una bacteria reductura de nitratos uy fijadora de N, además de tener una amplia capacidad de reducir arsenico. Esta bacteria ha sido aislada de diferentes tipos de lugares que han sufrido alguna alteracion biotica o contaminacion, lo cual la combierte en un microorganismo de alto potencial biotico (Ibarra, 2018).

2.5.2.4.3 *Candida cretensis*

Candida cretensis es una especie que se encuentra incluida en el tan mencionado clado *Candida kruisii*, el cual fue descrito mediante la fracturación de una sola cepa, que fue aislada de un hongo que se encontraba en descomposición en Creta, Grecia. La

revelación de nuevas cepas de *C. cretensis* en diferentes alimentos fermentados tiene una vasta diversidad tanto ecológica como fisiológica (Quirós et al., 2008).

Según Ibarra (2018), en diversos estudios sobre *C. cretensis* que se realizaron en La Paz, Baja California Sur se ha podido comprobar que esta levadura aislado de un sistema de mangle tiene como efectos una mejora en la respuesta inmune del *L. vanammei*, al igual que una reducción considerable de la concentración de amonio que se encuentra en el agua, pudiendo así confirmar su alta efectividad como un biorremediador y probiótico.

2.5.2.5 Enzimas usadas para biorremediación en acuicultura

Las enzimas actúan como catalizadores durante la biorremediación, esto les permite acelerar las reacciones que tienen a nivel bioquímico, tanto en el agua como en el suelo de las piscinas. Al momento de esparcirlas por el fondo del suelo o agregarlas al agua estas enzimas degradan los componentes orgánicos de los estanques, comúnmente los principales, teniendo así un mejor control del ecosistema acuático. Las enzimas al ser naturales, pueden llegar a ser producidas por diferentes tipos de microorganismos. Las proteasas y amilasas son enzimas que tienen la capacidad de crearse cuando se fermenta de manera aeróbica la materia orgánica, al igual que en diferentes especies de *Bacillus*. (Santos, 2014)

Enzima	Sustrato
Amilasa	β - glucósido
Celulasa	Celulosa
Lipasa	Lípidos y grasas
Proteasa	Proteína
Xilanasa	Xilano, Hemicelulosa
Pectinasa	Pectina

Ilustración 9. Tipos de enzimas utilizadas en biorremediación en acuicultura.

Fuente: Santos (2014).

Es de suma importancia tener en cuenta que, para que se pueda desarrollar todos los procesos de biorremediación que son catalizados por diferentes enzimas, es necesario contar con la presencia de bacterias Gram positivas. Al momento de romper las partículas de sedimento las enzimas tienden a acelerar los procesos microbianos, estableciendo así

superficies más amplias, para posteriormente ser fermentadas por los microbios. Una de las maneras más visibles de observar esta reducción de MO muerta y lodo no es solo es mediante una calidad de agua óptima, sino también mediante una mejor calidad de suelo (Santos, 2014).

2.5.2.6 Biorremediación de agua con microalgas

Como menciona Ortiz-Villota et al (2018), las microalgas son uno de los organismos que se pueden llegar a emplear para los tratamientos de biorremediación, son ampliamente conocidas como una alternativa viable y eficaz al ser aplicadas para la reducción de nutrientes como fósforo y nitrógeno. Mediante todas estas aplicaciones se ve la necesidad de innovar nuevas estrategias que permitan abordar retos en los cultivos, para una mejor calidad de agua. La biorremediación con microalgas es una alternativa con precios bajos y rentable, especialmente para las aguas residuales.

En estudios realizados en Chile se puede comprobar la evidencia que poseen las microalgas como un potencial en fitorremediación, además de los diferentes usos que se le puede dar a la biomasa que estas acumulan. En resultados que fueron obtenidos con la microalga *Chlorella vulgaris* se logra verificar los beneficios que se le puede dar a esta especie, al momento de usarla para la remoción de nutrientes que se originan por las industrias o actividad acuícola, pudiendo así tener una mejor sostenibilidad acuícola (Ramos y Pizarro, 2018).

Los nutrientes, NO₃ y NO₂ pueden ser fácilmente removidos por las microalgas, además de ello se las emplea también para poder eliminar sustancias nocivas como: metales pesados, herbicidas, pesticidas; esto se puede dar mediante la facultad que estas plantas poseen para poder retener concentraciones importantes de compuestos tóxicos, sin llegar alterar su actividad biológica. Las microalgas liberan O₂ mediante las fotosíntesis, sumando así esto como otro beneficio que tienen para degradar diferentes compuestos orgánicos y poner crear una acumulación de biomasa, que tiene como finalidad ser usada en los sistemas de cultivo. Varios estudios en Colombia han podido mostrar que las cepas más capaces pertenecen a *Chlorella vulgaris* la cual se ha descrito como una microalga con una alta adaptación para la eliminación de nutrientes en aguas eutrofizadas (Ortiz-Villota et al., 2018).

2.5.3 Importancia de la biorremediación en acuicultura

La MO que se encuentra localizada en la parte inferior de los estanques puede llegar a tener un impacto negativo en la producción, logrando aumentar las tasas de mortalidad y disminuir de manera considerable el crecimiento del animal. Esto se debe a que, al no tener un control con el medio, puede llegar a existir una proliferación de organismos patógenos. Por esto, es de suma importancia poder biorremediar los suelos que se encuentren con una carga de materia orgánica, o estos se encuentren en descomposición (Gavino, 2017).

El empleo de microorganismos tales como las bacterias, no solo se basa en su función probiótica, sino que pueden actuar en un proceso de biorremediación para mejorar las condiciones del medio. Los microorganismos en la biorremediación se usan para eliminar, desintoxicar, neutralizar, y/o degradar sustancias nocivas en residuos menos tóxicos o no tóxicos. En lo que respecta a un medio acuícola, diversos microorganismos se encuentran en contacto directo con los animales de cultivo y con el alimento administrado, lo que facilita la entrada al tracto digestivo de los animales. Así mismo, existen microorganismos en el medio acuático con potencial patógeno y oportunista, los cuales aprovechan periodos de estrés del animal para causar infecciones, provocando una disminución en el crecimiento y una baja eficiencia alimenticia, e incluso la muerte (Helmy et al., 2020).

Las bacterias *Bacillus spp.*, son microorganismos que juegan un rol importante en la mejora de la calidad del agua, esto se debe a que son bacterias grampositivas, por ende, tienen la capacidad de transformar la materia orgánica en CO₂ a diferencia de las bacterias gramnegativas. La acumulación de materia orgánica es un fenómeno recurrente durante la producción de camarón, no obstante, el incremento de bacterias Gram positivas (Bacilos) puede contribuir a la reducción de los niveles de carbono orgánico en el cultivo. Del mismo modo se sabe que, diferentes especies de bacilos son por excelencia buenos biorremediadores de desechos orgánicos. Dichas bacterias no solo benefician a la microbiota de los ambientes acuáticos, sino que también ayudan a controlar microorganismos patógenos, lo que posteriormente mejora la degradación de contaminantes orgánicos en el agua y los sedimentos (Soltani et al., 2019).

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La acuicultura con el pasar de los años ha tenido un gran impacto en el mundo, llegando así a convertirse en una de las principales industrias de productividad que surge para poder abastecer la demanda alimenticia de los seres humanos. Por esta misma razón, muchos de los cultivos no siguen las normas de asepsia necesarias, así como también los protocolos establecidos.

La intensificación de estos cultivos ha generado un impacto ambiental que puede llegarse a ver afectado por la cantidad de materia orgánica que se produce, no obstante, la materia orgánica en algunas de las ocasiones es liberada irresponsablemente al medio ambiente, lo cual genera un daño al ecosistema. Una de las alternativas viables para que se puedan disminuir toda la cantidad de componentes tóxicos que se generan en la práctica acuícola es el uso de tecnología de biorremediación, lo cual en la actualidad se ha podido demostrar que tiene una gran efectividad.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Arias Cango, M. A., y Morán Arellano, R. A. (2020). *Análisis de la relación entre los métodos de alimentación del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* con los parámetros de producción, calidad de suelo y agua, en sistemas de cultivos semi-intensivos de granjas camaroneras en El Oro*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral], 16. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50601>
- Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), 2-3. <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-003>
- Del Río, M., Martínez, A., y Jara, M. (2016). La Acuicultura y su impacto en la zona Costera del Golfo de California. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 18(3), 38. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/334>
- Fuentes Rodriguez, K. L., Robles Chávez, N. A., y García Solano, O. I. (2018). Desempeño productivo del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) y mejora de la calidad del agua utilizando probiótico, en Choluteca, Honduras. *Academia*, 2. https://www.academia.edu/36857954/Desempe%C3%B1o_productivo_del_cultivo_de_tilapia_Oreochromis_sp_y_mejora_de_la_calidad_del_agua_utilizando_probi%C3%B3tico_en_Choluteca
- Gavino, E. (2017). *Revisión acerca de la utilización de microorganismos en el mejoramiento en granjas camaroneras*. [Examen Complexivo, Universidad técnica de Machala], 10-21. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10512/1/DE00002_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf
- Gonzalez-León, L. M., Rizo Porro, M., y Arenal Cruz, A. (2022). Bacillus firmus: aplicaciones y potencialidades como probiótico en la acuicultura. *Revista de Producción Animal*, 34(2), 4-7. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-79202022000200001
- Guevera Zambrano, E. C., y Vélez Navia, J. A. (2022). *Diseño e implementación de módulo para adquisición de datos de la Calidad del agua en sistemas acuícolas utilizando un multisensor orientado AL IOT*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana], 11. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23845/1/UPS-GT004092.pdf>
- Helmy, Q., Kardena, E., y Gustiani, S. (2020). Probiotics and Bioremediation. En *Microorganisms*. IntechOpen. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90093>
- Hernández Gurrola, J. A. (2016). *Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado*. [Tesis de Maestría, Centro de

investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.], 5.
<http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/505>

- Ibarra Serrano, A. C. (2018). *Evaluación de microorganismos aislados de sistemas de mangle con capacidades biorremediadoras e inmunoestimulantes en el cultivo de camarón blanco del pacífico*. [Tesis de Maestría, Centro de investigaciones biológicas del noroeste, S.C.], 46-47.
<http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/1728>
- Martínez Córdova, L. R., Martínez Porchas, M., López Elías, J. A., y Enríquez Ocaña, L. F. (2014). Uso de microorganismos en el cultivo de crustáceos. *Revistas de ciencias biológicas y ciencias de la salud*, XVI(3), 50-51.
<https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnia/2014/vol16/no3/8.pdf>
- Navarrete Álava, J., Noles Aguilar, P., Delgados Villafuerte, C., Hernández de Guerreo, N., y Guerrero Ríos, R. (2022). Biorremediación de efluentes del cultivo de camarón por medio de consorcios microbianos autóctonos y microalgas nativas en Manabí, Ecuador. *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura*, 4(1), 53-65. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6536003>
- Noguera Muñoz, F. A. (2020). *Sistemas Productivos Súper-intensivos de Camarón y su Importancia en el Desarrollo Económico Local del Municipio de San Blas, Nayarit-México*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nayarit], 39-40.
<http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/2359>
- Ortiz-Villota, M. T., Romero-Morales, M. A., y Meza-Rodríguez, L. D. (2018). La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Revista de investigación, Desarrollo e Innovación*, 9(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8153>
- Palacios Serrano, N. O. (2016). *Estudio de factibilidad para producir camarón de la especie Litopenaeus vannamei bajo un sistema de producción semi-intensivo en Ecuador*. [Tesis de Grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano], 5-6.
<https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/5812>
- Parrado Sanabria, Y. A. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia. *Revista AquaTIC*(37), 68. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49425906003>
- Quirós, M., Martorell, P., Querol, A., Barrio, E., Peinado, J., y Silóniz, M. (2008). Cuatro nuevas cepas de *Candida cretensis* aisladas de chorizos fermentados españoles: implicaciones taxonómicas y filogenéticas. *FEMS yeast research*, 8(3), 485-491.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2007.00341.x>
- Ramos, R., y Pizarro, R. (2018). Crecimiento y capacidad de biorremediación de *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivada en aguas residuales generadas en el cultivo del pez dorado *Seriola lalandi* (Perciformes: Carangidae). *Revista de biología marina y oceanografía*, 53(1).
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572018000100075>

- Robles Chávez, N. A. (2018). Validación de nitrato de sodio y silicatos para el tratamiento de suelos con problemas de pH, hierro y potencial Redox en Choluteca, Honduras, 2018. *ISSUU*, 2-3. https://issuu.com/nahunrobles/docs/validaci_n_de_nitrato_de_sodio_y_si
- Romano Moyano, A. (2020). Regeneración electroquímica del agua utilizada en sistemas intensivos de acuicultura marina. [Tesis Doctoral, Universidad de Cantabria](16), 32-33. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/19227>
- Salvador González, R. G. (2019). *Evaluación del potencial del salvado de arroz fermentado con cepas probióticas para reducir los niveles de amonio en acuicultura*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas], 23-25. <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26281/1/gonzalezrubio1.pdf>
- Santos, G. (2014). Biorremediación en sistemas acuícolas. *International Aquafeed*. <https://www.balnova.com/biorremediacion-en-sistemas-acuicolas/>
- Soltani, M., Ghosh, K., Hossein Hoseinifar, S., Kumar, V., Lyubery, A. J., Roy, S., y Ringø, E. (2019). Genus bacillus, promising probiotics in aquaculture: Aquatic animal origin, bio-active components, bioremediation and efficacy in fish and shellfish. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(3), 331-379. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1597010>
- Torres Ríos, W. C. (2019). *Biorremediación del agua recirculante en el cultivo intensivo del camarón blanco, utilizando microbiota autóctona del ecosistema del mangle rojo*. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos], 2-3. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10867>
- Ullsco Azuero, E. S., Garzón Montealegre, V. J., Quezada Campoverde, J. M., y Barrezueta Unda, S. (2021). Análisis del comportamiento económico de la exportación en el sector camaronero en el Ecuador, periodo 2015- 2019. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4((S1)), 112-119. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/418>
- Vinatea, L. (2021). Calidad de agua en acuicultura. *suelo de estanques*. <https://www.luisvinatea.com/post/suelo-de-estanques-pond-soil>