



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MEDICO VETERINARIO**

**EVALUACIÓN DE DOS PROTOCOLOS DE
BIORREMEDIACIÓN DE SUELO EN PRODUCCIÓN
ACUÍCOLA DE *Litopenaeus vannamei***

AUTOR

GENOVESI VELÁZQUEZ ANTHONY JOSUE

TUTORA

MVZ. IVONNE ESPAÑA GARCÍA, MSc

**GUAYAQUIL – ECUADOR
2025**



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, IVONNE ESPAÑA GARCIA, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE DOS PROTOCOLOS DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELO EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE *Litopenaeus vannamei*", realizado por el estudiante GENOVESI VELÁZQUEZ ANTHONY JOSUE; con cédula de identidad N° 0956621098 de la carrera MEDICINA VETERINARIA, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

MVZ: IVONNE ESPAÑA GARCIA, MSc.

Guayaquil, 12 de marzo del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “EVALUACIÓN DE DOS PROTOCOLOS DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELO EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE *Litopenaeus vannamei*”, realizado por la estudiante GENOVESI VELÁZQUEZ ANTHONY JOSUE, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

MVZ. Macías Castro Verónica, MSc.
PRESIDENTE

Dr. Arcos Alcívar Fabricio, MSc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

MVZ Yoong Kuffó Washington, MSc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Dra. Ivonne España García, MSc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 5 de mayo del 2025

DEDICATORIA

Con un profundo agradecimiento dedico esta tesis a mi familia que ha sido un pilar fundamental para que yo esté aquí, a mi padre Antonio Genovesi que ha sido mi guía durante toda mi vida, a mi madre Lilian Velásquez por siempre apoyarme en cada paso que he dado, a mis hermanas que gracias a su apoyo y consejos para siempre seguir adelante sin mirar atrás, a mi mejor amigo Fidel Hington por apoyarme en estos últimos años de carrera y más que todo a mi abuela Gregoria Lucia de Genovesi, quien es mi segunda madre, aunque no esté hoy en vida todos mis logros siempre serán dedicados para ella.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi tutora Dra. Ivonne España, por su guía durante todo mi proceso de tesis, a mis compañeros de Biobac que formaron parte de mi equipo de recolección de muestras en las camaroneras, también quiero agradecer a mi mejor amigo Fidel Hington que fue una pieza muy fundamental durante todo el proceso de mi tesis y a mi ídolo Cristiano Ronaldo por ser una fuente de inspiración para entender que nada se consigue sin trabajo arduo y constante, que sin disciplina será más difícil cumplir tus metas, que pesar de las críticas siempre hay que avanzar y nunca descuidar a tus seres queridos.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, Genovesi Velázquez Anthony Josue, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DE DOS PROTOCOLOS DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELO EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE *Litopenaeus vannamei*”**, para optar el título de MÉDICO VETERINARIO, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, mayo 5 del 2025

GENOVESI VELÁZQUEZ ANTHONY JOSUE

C.I. 0956621098

RESUMEN

El presente estudio evaluó la efectividad de dos protocolos de biorremediación en piscinas de producción camaronera dedicadas al cultivo de *Litopenaeus vannamei*, comparando los tratamientos 1 (Biobac) y el 2 (Pro4000) con un grupo de control. Esta investigación se llevó a cabo en un periodo de 92 días en la zona de Taura y tuvo como objetivos principales medir la disminución de la incidencia de bacterias del género *Vibrio spp.*, mejorar kpis productivos como el crecimiento, el FCA, y la sobrevivencia, así como evaluar el costo – beneficio y el impacto económico de cada tratamiento. Los resultados mostraron que el T1 fue el más efectivo disminuyendo notablemente las colonias de *Vibrio spp.*, y una mejor productividad en la piscina logrando obtener 7575 lb/ha superando a al T2 y a la piscina control. Asimismo, con este tratamiento se logró un mejor FCA de 1.27 y un mejor retorno de la inversión del 31%. La sobrevivencia alcanzada fue similar para las 3 piscinas en estudio con un valor promedio de 74% sin embargo la utilidad por hectárea fue mayor en el T1 alcanzado \$36.9/ha/día. Además, el T1 fue el más efectivo a nivel de parámetros químicos del agua manteniendo los valores de los diferentes parámetros estables y en ciertos casos ayudando a disminuir la concentración de los mismos.

Palabras claves: Biorremediación, *Litopenaeus vannamei*, Camarón, Producción acuícola, Probióticos.

ABSTRACT

The present study evaluated the effectiveness of two bioremediation protocols in shrimp farming ponds dedicated to the cultivation of *Litopenaeus vannamei*, comparing Treatment 1 (Biobac) and Treatment 2 (Pro4000) with a control group. This research was conducted over a 92-day period in the Taura region, with the main objectives of measuring the reduction in the incidence of *Vibrio* spp. bacteria, improving key performance indicators (KPIs) such as growth, feed conversion ratio (FCR), and survival rate, as well as evaluating the cost-benefit and economic impact of each treatment. The results showed that Treatment 1 was the most effective, significantly reducing *Vibrio* spp. colonies and achieving better productivity in the pond, with a yield of 7,575 lb/ha, surpassing both Treatment 2 and the control pond. Additionally, this treatment achieved a better FCR of 1.27 and a higher return on investment (ROI) of 31%. The survival rate was similar across the three ponds, with an average value of 74%; however, the profit per hectare was higher in Treatment 1, reaching \$36.9/ha/day. Moreover, Treatment 1 was the most effective in terms of water quality, maintaining stable values for various chemical parameters and, in some cases, helping to reduce their concentrations.

Keywords: *Bioremediation, Litopenaeus vannamei, Shrimp, Aquaculture production, Probiotics.*

INDICE

1. Introducción.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	18
1.1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	18
1.1.2. Formulación del problema	19
1.2. Justificación del problema	19
1.3. Delimitación del área.....	19
1.4. Objetivos	19
1.5. Específicos.....	20
1.6. Hipótesis	20
2. MARCO TEORÍCO	21
2.1. Estado del arte	21
2.2.1. Calidad de Agua en el cultivo de camarones.....	24
2.2.2. Calidad de suelo en acuicultura	25
2.2.3. Biorremediación.....	29
2.2.4. Como lograr una biorremediación efectiva:	29
2.2.5. Biorremediación In situ:	30
2.2.6. Etapas de la biorremediación in situ	30
2.2.7. Tipos de biorremediación	31
2.2.8. Importancia de la biorremediación en Acuicultura	32
2.2.8.1. Biorremediación del suelo	33
2.2.8.2. Biorremediación del agua.....	35
2.2.9. Especies de bacterias utilizadas.....	36
2.2.10. Adaptación bacteriana.....	36

2.2.13. Selección de bacterias:.....	38
2.2.14. La interacción de las bacterias con la materia orgánica en el agua de cultivo. 39	
2.3. Marco legal.....	40
3. MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1.1. Enfoque de la investigación	42
3.1.2. Alcance de la investigación	42
3.1.3. Diseño de investigación	42
3.2. Metodología	42
3.2.1. Variables.....	42
3.2.2. Matriz de Operacionalización de variables	43
3.2.3. Tratamientos.....	44
3.3. Recolección de datos.....	45
3.4. Métodos y técnicas	45
3.5. Población y muestra	48
3.6 Análisis estadístico.....	48
4. RESULTADOS.....	50
4.1. Comparación de Factor de conversión alimenticia (FCA) y sobrevivencia obtenidos entre los dos protocolos de biorremediación.	50
4.2 Análisis sobre la calidad física química del agua y suelo de dos protocolos de biorremediación.	53
4.3 Identificación del mejor protocolo de biorremediación en relación costo – beneficio.....	62
5. DISCUSIÓN	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66

6.1. Conclusiones.....	66
6.2. Recomendaciones	67
Bibliografía	68
ANEXOS	71
APENDICE.....	80
Conteo de Vibrios	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables dependientes	43
Tabla 2. Operacionalización de variables independientes	44
Tabla 3. Análisis descriptivo de valores de Supervivencia y FCA.....	50
Tabla 4. Análisis ANOVA de valores de Supervivencia	50
Tabla 5. Análisis ANOVA de valores de FCA	50
Tabla 6. Análisis descriptivo de los valores de Calidad de agua.....	53
Tabla 7. Análisis descriptivo de los valores de Materia Orgánica	57
Tabla 8. Análisis ANOVA de valores de TAN	50
Tabla 9. Análisis ANOVA de valores de Amoníaco	50
Tabla 10. Análisis ANOVA de valores de Nitrito	50
Tabla 11. Análisis ANOVA de valores de Nitrato	50
Tabla 12. Análisis ANOVA de valores de Fosfato	50
Tabla 13. Análisis ANOVA de valores de Sulfuro	50
Tabla 14. Análisis ANOVA de valores de Materia Orgánica	61
Tabla 15. Análisis Costo – Beneficio	62

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Análisis DESCRIPTIVOS de la Supervivencia y FCA	71
ANEXO 2: Gráfico de cajas comparativo del factor de conversión alimenticia entre los tratamientos.....	72
ANEXO 3: Grafica de caja comparativa de la supervivencia semanal por tratamiento.....	72
ANEXO 4: Grafica de caja comparativa de los valores de TAN por tratamiento	73
ANEXO 5: Grafica de caja comparativa de los valores de Amoníaco por tratamiento.....	73
ANEXO 6: Grafica de caja comparativa de los valores de Nitrato por tratamiento	74
ANEXO 7: Grafica de caja comparativa de los valores de Nitrito por tratamiento	74
ANEXO 8: Grafica de caja comparativa de los valores de Fosfato por tratamiento	75
ANEXO 9: Grafica de caja comparativa de los valores de Sulfuro por tratamiento	75
ANEXO 10: Grafica de caja comparativa de los valores de Materia Orgánica por tratamiento.....	75

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Análisis de Materia Orgánica.....	77
FIGURA 2: Muestreo Piscinas en estudio	77
FIGURA 3: Muestreo de calidad de agua	78
FIGURA 4: Muestreo para cultivo bacteriano	78
FIGURA 5: Testeo protocolos previo a la aplicación	79

INDICE DE APENDICE

Tabla 16: Análisis descriptivo de valores de Vibrios en el suelo.....77

1. Introducción

El cultivo de camarón en Ecuador en los últimos años ha tenido un crecimiento fuerte y sostenido posicionándose como el primer producto de exportación no petrolera del país. En la actualidad existen 210.000 hectáreas en producción dentro de las cuales el 60% se encuentra en la provincia del Guayas, 15% en el Oro, 9% en Esmeraldas y Manabí y un 7% en Santa Elena (Andaluz, 2017).

En la actualidad la producción camaronera está atravesando por diferentes problemáticas la principal y más fuerte es la baja de precios a la venta. Esta actividad se consolida como una fuente de generación de empleos generando alrededor de 180 mil plazas de trabajo, a su vez la baja del precio de libra producida se encarece debido a varios factores como el incremento del precio del alimento balanceado y la eliminación del subsidio del diésel lo que conlleva a los camaroneros a querer producir más incrementando las densidades lo que genera un daño al medio principalmente al suelo donde va a existir un incremento considerable de la materia orgánica y también de cierto tipo de bacterias patógenas (Aquahoy, 2017).

Según (Rivera, 2020). El suelo es uno de los puntos más importantes en la producción y desarrollo de camarones debido a que en este es donde el animal va a comer y a desarrollar a cabo diversas actividades fisiológicas como el proceso de muda, los productores antiguamente se preocupaban principalmente por brindar una calidad de agua óptima descuidando el fondo, lo que conlleva a daños en el suelo por incremento de la materia orgánica en los fondos de los estanques y a su vez un incremento de bacterias, una de ellas siendo el género vibrios estas son componente fundamental de los medios acuáticos la mayoría son benignas a no ser que lleguen a concentraciones demasiado elevadas (Newman, 2022).

El cultivo de camarón en Ecuador empezó de manera casual hace más de 50 años, las fincas se establecieron en la región de la costa y luego se extendieron a otras regiones (Melgar, 2018). A pesar de cómo fueron los inicios de esta producción ha logrado tecnificarse, e incrementar la cantidad de libras producidas y exportadas, pero este camino ha sido largo y pesado debido a que esto ha sido un constante ensayo error, aprendiendo de los errores (Piedrahita, 2018).

Debido al mal cuidado y al incremento de patógenos se ha visto afectado el desarrollo del camarón. Los cultivos acuícolas se convierten en un medio perfecto para el desarrollo de diferentes microorganismos debido a la disponibilidad de nutrientes, por malos manejos de los técnicos y un manejo inadecuado de las diferentes enfermedades (Boyd C. , 2017).

El incremento de las densidades y de las libras producidas ha provocado un deterioro de los sistemas principalmente un deterioro de los suelos por un incremento en el porcentaje de la materia orgánica esto va a provocar un incremento de las bacterias principalmente de las gram - negativas que se aprovechan de los cambios en el medio llegando a producir enfermedades en el cultivo (Cuellar, 2015).

Con la aparición de las enfermedades se han desarrollado diferentes soluciones, una de ellas es el uso de bacterias probióticas que ayudan a la disminución de los niveles de materia orgánica y a su vez disminuir la población de bacterias dañinas a este tipo de productos se los llama biorremediadores (Boyd C. , 2018).

En la actualidad con el aumento de las densidades en piscinas, se requiere un mayor cuidado de los suelos de las piscinas debido a que incrementa la cantidad de alimento suministrado y también la cantidad de desechos, esto conlleva a un incremento de la dosis de bacterias o biorremediador aplicado al medio de esta manera cuidamos el porcentaje de materia orgánica el cual no debe superar el 3% para que no existan problemas de salud ya que esta cantidad de materia orgánica es beneficiosa ya que permitirá el crecimiento de población bentónica la cual va a servir de sustrato alimenticio a los camarones durante el cultivo (Martínez, 2019).

Es por eso por lo que se fomenta el uso de bacterias probióticas que permitan disminuir esta carga orgánica además de cumplir otras funciones como: Incrementar el valor nutricional de los alimentos suministrados, incrementa la supervivencia de los animales, mejorar la calidad de agua del medio y a su vez mejorando la calidad del suelo (Tejera, 2020).

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad, el camarón se ha consolidado como el principal producto de exportación a nivel nacional. Esto ha llevado a un aumento significativo en las densidades de cultivo, es decir, más camarones cultivados por metro cuadrado, lo que resulta en una mayor cantidad de alimento balanceado agregado al medio ambiente. Como consecuencia, se genera más desechos, mortalidades y restos de muda (Andaluz, 2012).

Según (Martínez, 2019) este incremento en la carga de materia orgánica en el suelo tiene efectos adversos, como la degradación del suelo y la reducción de los niveles de oxígeno en las capas más profundas de las piscinas. Esto es especialmente relevante porque el suelo es crucial para las funciones biológicas del camarón, como el proceso de muda, durante el cual el camarón se entierra y se vuelve vulnerable. En condiciones de alta contaminación, los camarones que mudan pueden contraer enfermedades, principalmente de origen bacteriano.

Es ahí donde entran en juego los vibrios, las bacterias más comunes que generan patologías en los camarones, estos patógenos son mayoritariamente oportunistas es decir generan una afección cuando existe un proceso de inmunodeficiencia del camarón debido a procesos que le generen estrés o desbalances en el medio, tales como baja de oxígeno, mala calidad de agua o problemas en el suelo, en este último se van a acumular cuando exista una alta concentración de materia orgánica y el camarón al consumir de dicho suelo dañado va a incrementar las colonias bacterianas principalmente en hepatopáncreas pudiendo desencadenar una afección (Merchan, 2017).

El presente trabajo de investigación surge debido a la necesidad de probar la efectividad de dos protocolos de biorremediación evaluando su capacidad para disminuir colonias de vibrios a nivel del suelo, para de esta manera brindar un mejor medio de cultivo para los camarones obteniendo un mejor status sanitario, permitiendo tener una mejor sobrevivencia y mejores beneficios económicos.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son los beneficios de usar biorremediadores de suelo?

1.1.2.1. Sistematización del problema

¿Cómo influyen los protocolos de biorremediación en el factor de conversión alimenticia?

¿Cómo impactan los protocolos de biorremediación en la sobrevivencia del *Litopenaeus vannamei*?

¿Cuáles serían los beneficios de los protocolos a nivel económico en la producción acuícola?

1.2. Justificación del problema

Implementar bacterias biorremediadoras en acuicultura no solo aborda problemas de gestión de residuos y control de patógenos al mismo tiempo que protege los recursos naturales y contribuye al bienestar de las comunidades locales. Es de suma importancia establecer protocolos eficientes que permitan mejorar el medio en el cual se desarrolla la producción.

1.3. Delimitación del área

El estudio se llevó a cabo en la zona de Taura durante 3 meses tiempo en el cual se llevó a cabo la recolección de muestras y los análisis de materia orgánica y de microbiología de suelo, siendo los materiales y presupuesto necesario fue asumido por la empresa BioBac.

1.4. Objetivos

General

- Evaluar la efectividad de dos protocolos de biorremediación en la disminución de la prevalencia de bacterias del género *Vibrio spp.* en el suelo.

1.5. Específicos

- Comparar el factor de conversión alimenticia y sobrevivencia obtenida entre los dos protocolos de biorremediación
- Analizar la calidad física química del agua y suelo de dos protocolos de biorremediación.
- Identificar el mejor protocolo de biorremediación en relación costo – beneficio

1.6. Hipótesis

El uso de bacterias biorremediadoras reducirá significativamente la acumulación de materia orgánica en los estanques

2. MARCO TEORÍCO

2.1. Estado del arte

Según el estudio realizado por (Martínez, 2019) el suelo en las piscinas camaroneras juega un papel fundamental en el consumo de oxígeno y es una de las áreas que presenta una demanda más alta de este recurso. Martínez investigó el impacto de tratamientos de biorremediación con enzimas y bacterias del género *Lactobacillus* aplicados semanalmente en cuatro piscinas camaroneras dos con uso de enzimas y dos con uso de bacterias, comparándolos con una piscina control en la que no se utilizó ningún tratamiento de biorremediación, durante un período de tres meses. El estudio reveló que la biorremediación indistintamente si fue con enzimas o bacterias tiene un efecto positivo significativo en la supervivencia y el crecimiento de los camarones. En conclusión, el estudio de Martínez demuestra que la biorremediación es una estrategia efectiva para mejorar las condiciones del suelo en las piscinas camaroneras, lo que a su vez favorece la sobrevivencia y el desarrollo de los camarones, justificando así la inversión en estas prácticas para obtener mejores resultados en la acuicultura.

En el estudio llevado a cabo por (Navarrete, 2022) se evaluó el impacto de cepas de *Lactobacillus* en la producción de camarones en ocho piscinas camaroneras distintas. El diseño experimental incluyó la aplicación de estas bacterias a cuatro de las piscinas semanalmente, y a las otras cuatro cada quince días durante un período de tres meses, la aplicación de *Lactobacillus* se realizó tanto en el agua como en el suelo de las piscinas. Los resultados del estudio indicaron que las piscinas en las que se aplicó el tratamiento semanal mostraron una mejora significativa en la producción de camarones en comparación con las piscinas tratadas cada quince días. Esta mejora se reflejó principalmente en la eficiencia de los camarones al llegar a la planta de procesamiento. El tratamiento semanal con *Lactobacillus* demostró ser efectivo en desplazar a los vibrios patógenos que, en ausencia de la competencia proporcionada por las bacterias beneficiosas, pueden causar daños durante el proceso de muda de los camarones. Al reducir la prevalencia de estos patógenos, se observó una mayor aceptación del producto en la planta de procesamiento, lo que sugiere que los

camarones estaban en mejor estado de salud y tenían menos problemas asociados a enfermedades bacterianas. Además, el estudio reveló que la aplicación periódica de productos de biorremediación contribuyó a mantener los niveles de materia orgánica en el suelo de las piscinas tratadas de manera más estable. La materia orgánica en el suelo es crucial para el bienestar de los camarones, y su estabilización es importante para prevenir problemas asociados con la acumulación de desechos y la proliferación de bacterias patógenas.

Según el estudio realizado por (Mendoza, 2018) se investigó el impacto de diversas cepas bacterianas en piscinas camaroneras con elevados niveles de materia orgánica y amonio. Mendoza identificó cepas específicas de bacterias que demostraron ser altamente eficientes en la reducción de la materia orgánica y en la degradación de compuestos tóxicos, como nitrógeno y fosfatos, que son indicadores clave de contaminación ambiental. El estudio se centró en el uso de cepas de *Paracoccus sp.* y *Thiobacillus sp.*, las cuales fueron aplicadas en piscinas con altos valores de amonio. Los resultados mostraron una notable reducción de aproximadamente el 30% en los niveles de amonio en comparación con las piscinas que no recibieron tratamientos con estas bacterias biorremediadoras. Además, se observó una disminución significativa en la concentración de compuestos tóxicos, como el sulfuro de hidrógeno, un gas que señala la presencia de una alta carga de materia orgánica en el medio. En conclusión, Mendoza afirmó que la utilización de las cepas bacterianas *Paracoccus sp.* y *Thiobacillus sp.* ofrece una solución eficaz para mejorar la calidad del medio ambiente en las piscinas camaroneras.

Según el estudio realizado por (Merchan, 2017) en una finca dedicada a la producción de camarones, se evaluó el impacto de tres cepas diferentes de bacterias en la salud de los camarones. Las cepas estudiadas fueron: *Pediococcus pentosaceus*, *Pediococcus acidilactici* y *Bacillus amyloliquefaciens*. La investigación se llevó a cabo en piscinas camaroneras para determinar la eficacia de estas cepas en la reducción de la presencia de vibrios patógenos y en la mejora general de la salud de los camarones. Merchán encontró que la aplicación de la cepa *Bacillus amyloliquefaciens* resultó en una mejora significativa en las condiciones de las piscinas. En particular, se observó una reducción de aproximadamente el 24% en el

número de colonias de vibrios verdes en el hepatopáncreas de los camarones. El hepatopáncreas es un órgano crítico y altamente susceptible a infecciones bacterianas en los camarones, y su salud es esencial para el bienestar general del animal. Los vibrios verdes, siendo patógenos oportunistas, pueden causar serios problemas en este órgano, afectando negativamente la salud de los camarones y su tasa de supervivencia. Durante el estudio, se observó que la cepa *Bacillus amyloliquefaciens* no solo redujo la cantidad de vibrios verdes, sino que también tuvo un impacto positivo en la salud de los camarones, especialmente en la etapa crítica de los 30 días de vida. Esta etapa es conocida por ser particularmente vulnerable a problemas de salud, y la intervención con esta cepa bacteriana demostró ser eficaz en la mitigación de riesgos y en la mejora de la salud de los animales. Merchán concluyó que la incorporación de bacterias beneficiosas como *Bacillus amyloliquefaciens* en el entorno acuático puede mejorar notablemente la salud de los camarones. La reducción de la carga bacteriana patógena en el hepatopáncreas contribuye a disminuir la mortalidad y mejorar el bienestar general de los camarones. Además, esta mejora en la salud de los animales puede tener un efecto positivo en los rendimientos del cultivo, incrementando los beneficios económicos al final del ciclo de producción.

En el estudio realizado por (Castro, 2021) se examinó la eficacia de ciertas bacterias en la biorremediación de ambientes acuáticos, enfocándose en dos procesos cruciales: la nitrificación y la desnitrificación. Castro observó que las bacterias del género *Bacillus* presentan un alto potencial para reducir los compuestos nitrogenados en el medio, facilitando así la descomposición de estos gases. Este proceso es fundamental para mantener niveles óptimos de microalgas en el ecosistema acuático. Las microalgas, como las cianobacterias (o cianofitas), utilizan el nitrógeno para sus procesos metabólicos. Al eliminar de manera más eficiente los compuestos nitrogenados, las bacterias *Bacillus* lograron una reducción del 22% en la concentración de cianofitas en las piscinas tratadas en comparación con las piscinas que no recibieron tratamiento. Este efecto contribuyó a un incremento del 10% en la población de algas beneficiosas, incluyendo diatomeas y clorofitas, lo que favoreció el mantenimiento de una calidad de agua óptima. Castro concluyó que al

reducir los excesos de nutrientes como el nitrógeno y disminuir la presencia de cianofitas, se logra un efecto secundario beneficioso: una reducción en la incidencia de vibrios patógenos. Estos patógenos, comúnmente asociados con las cianofitas, tienen menos oportunidad de proliferar cuando las cianobacterias están controladas. Por lo tanto, la biorremediación con *Bacillus* no solo mejora la calidad del agua, sino que también contribuye a la salud general de los animales al reducir las poblaciones de patógenos. En resumen, el estudio de Castro demuestra que la aplicación de bacterias *Bacillus* para la biorremediación puede tener un impacto positivo significativo en los ambientes acuáticos. La reducción de compuestos nitrogenados y cianofitas mejora la calidad del agua y favorece el crecimiento de algas beneficiosas, al tiempo que disminuye la presencia de patógenos asociados. Esta estrategia no solo optimiza las condiciones del medio acuático, sino que también promueve la salud y el bienestar de los animales, subrayando la importancia de una gestión efectiva de los nutrientes en la acuicultura.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Calidad de Agua en el cultivo de camarones

El cultivo de camarones depende crucialmente de la calidad del agua, ya que diversos parámetros físicos, químicos y biológicos pueden influir significativamente en la salud, crecimiento y supervivencia de estos organismos acuáticos.

2.2.1.1. Parámetros Físico – Químicos del agua en producción camaronera.

La temperatura del agua es fundamental para el metabolismo de los camarones, afectando directamente su tasa de crecimiento y desarrollo. Temperaturas fuera del rango óptimo pueden impactar negativamente en su desempeño (Boyd, 2018). El oxígeno disuelto es esencial para la respiración de los camarones. Niveles bajos pueden provocar hipoxia y afectar su salud (Avnimelech, 2009). Además, el pH del agua influye en la fisiología de los camarones, siendo valores extremos perjudiciales para su desarrollo (Primavera, 2006). La turbidez, que afecta la visibilidad y la eficiencia alimentaria, también es un factor crítico a considerar (Leung et al., 2017).

El amonio y los nitritos, productos de desecho metabólico, son altamente tóxicos para los camarones en concentraciones elevadas (Boyd, 2018). Los nitratos y fosfatos, aunque esenciales, en exceso pueden promover la eutrofización y afectar negativamente la calidad del agua (Avnimelech, 2009). La salinidad es crucial para las especies de camarones marinos y de agua salobre, influenciando su fisiología y adaptación (Primavera, 2006).

2.2.1.2. Parámetros Biológicos

La presencia de patógenos y la carga bacteriana son factores determinantes en la salud de los camarones. Ambos pueden comprometer seriamente la producción si no se controlan adecuadamente (Leung et al., 2017).

2.2.2. Calidad de suelo en acuicultura

La calidad del suelo juega un papel fundamental en el éxito y la sostenibilidad de la producción camaronera, influenciando directamente diversos aspectos clave como la salud de los camarones, la productividad del cultivo y el impacto ambiental de las operaciones acuícolas.

2.2.2.1. Características del Suelo en Acuicultura Camaronera

Los suelos utilizados en la acuicultura camaronera deben poseer ciertas características físicas, químicas y biológicas que favorezcan el crecimiento óptimo de los camarones. La textura del suelo es crucial, ya que afecta la capacidad de retención de agua y nutrientes esenciales para los camarones (Boyd, 2015). Además, la presencia de materia orgánica en el suelo juega un papel importante en la fertilidad y en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos (Primavera, 1998).

2.2.2.2. Parámetros Físicos – Químicos del Suelo

El análisis de las características físicas y químicas del suelo en el que se construirán las piscinas es esencial para el éxito de los proyectos acuícolas. Los métodos de análisis químicos y físicos utilizados en la agricultura son estándar y pueden adaptarse con algunas modificaciones para la acuicultura.

El desafío surge al determinar los niveles óptimos de concentración u otras características edáficas que favorezcan actividades biológicas, como el aumento de la productividad natural del fondo para proporcionar alimento vivo a cultivos como el de camarón, o para incrementar la actividad microbiana en el reciclaje de nutrientes y materia orgánica.

Una preocupación principal de los acuicultores es la acumulación de materia orgánica en el fondo, la cual demanda oxígeno para la respiración aeróbica de bacterias y otros microorganismos (Boyd, 1992). Además, la saturación del suelo durante el cultivo reduce la disponibilidad de oxígeno atmosférico, lo que disminuye la tasa a la que los microorganismos descomponen la materia orgánica de manera aeróbica, contribuyendo así a su acumulación.

Como resultado de esta demanda de oxígeno, se generan condiciones anóxicas y ácidas. En ausencia de oxígeno disuelto, las bacterias utilizan otros compuestos oxidados, como nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}), como aceptores de electrones durante el proceso de respiración, lo que resulta en la formación de compuestos químicos como nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+), gas sulfhídrico (H_2S), metano (CH_4), hierro ferroso (Fe^{2+}) y manganeso (Mn^{2+}), que pueden ser tóxicos y afectar negativamente el crecimiento de los organismos cultivados (Avnimelech y Zohar, 1986; Boyd, 1995).

La estructura física del suelo acuícola influye en la capacidad de soportar las instalaciones de cultivo y en la eficiencia de los sistemas de producción. Suelos compactados o mal drenados pueden dificultar la circulación adecuada del agua y el intercambio gaseoso, afectando negativamente la salud y el crecimiento de los camarones (Boyd, 2015).

La composición química del suelo, particularmente los niveles de pH y salinidad, es crítica para el éxito del cultivo de camarones. Valores extremos de pH pueden afectar la disponibilidad de nutrientes esenciales para los camarones y comprometer su capacidad para moldear el caparazón (Primavera, 1998). Asimismo, la salinidad del suelo debe ser adecuada para las especies específicas de camarones cultivadas, ya

que variaciones significativas pueden resultar en estrés osmótico y reducir la supervivencia (Boyd, 2015).

2.2.2.3. Calidad Microbiológica del Suelo

La presencia de microorganismos en el suelo acuícola puede tener impactos positivos o negativos en la producción de camarones. Los microorganismos beneficiosos pueden contribuir a la descomposición de materia orgánica y al ciclo de nutrientes, mientras que los patógenos pueden causar enfermedades y disminuir la productividad del cultivo (Primavera, 1998).

2.2.2.4. Impacto de la calidad del suelo en la Producción Camaronera

La calidad del suelo tiene un impacto directo en la producción camaronera. Suelos de baja calidad pueden resultar en tasas de crecimiento más lentas, mayor incidencia de enfermedades y menor eficiencia en la conversión de alimento, lo que se traduce en pérdidas económicas significativas para los productores (Boyd, 2015).

En las piscinas camaroneras, ciertas condiciones del agua y del suelo pueden inducir estrés en los camarones, manifestándose como pérdida de apetito, crecimiento retardado, mayor vulnerabilidad a enfermedades y parásitos, y un incremento en la mortalidad. Estos factores conducen a una reducción en la producción y a menores beneficios económicos. A pesar de la amplia comprensión sobre la necesidad de un ambiente de alta calidad para una producción eficiente de camarones, los productores suelen carecer de un conocimiento adecuado sobre la calidad del suelo y del agua, así como sobre las técnicas de manejo de las piscinas camaroneras para mitigar estos problemas (Boyd y Tucker, 1992).

Boyd (1995) indica que, aunque los suelos agrícolas han sido bien identificados y clasificados, el conocimiento sobre los suelos en estanques de acuicultura es limitado. En la agricultura, se han investigado en detalle los requisitos nutricionales del suelo, incluyendo nitrógeno (N), fósforo (P), iones, capacidad de intercambio de cationes (CEC), pH, entre otros, para diversos cultivos. En contraste, en acuicultura se conoce principalmente el impacto de la textura, el contenido de materia orgánica (MO), el pH

y la presencia o ausencia de ciertos componentes solubles en el suelo, que pueden influir positiva o negativamente en el cultivo de camarones.

En agricultura, los experimentos se realizan de manera más sencilla, con mejor observación y a menor costo (por ejemplo, en parcelas pequeñas o invernaderos), mientras que en acuicultura es más complejo observar la evolución del ciclo de producción (Boyd, 1995). Dado esto, el objetivo de este estudio es estandarizar un método para evaluar indirectamente el potencial del suelo para sustentar el crecimiento bacteriano mediante el reciclaje de nutrientes y la degradación de materia orgánica, utilizando este proceso como un índice de productividad del suelo. La estandarización permitirá replicar el método y reducir la variabilidad, facilitando el control de variables (como humedad, textura, contenido bacteriano y nutrientes) que afectan la respiración del suelo. Un manejo adecuado de estas variables promoverá la productividad natural del suelo, contribuyendo a la productividad del sistema en general. Por ende, una adecuada productividad del suelo se reflejará en una buena respiración del mismo, y cualquier alteración en la comunidad bentónica debido a condiciones adversas del suelo se manifestará en una alteración en la respiración.

Las características edáficas y las reacciones bioquímicas de los suelos afectan directamente la calidad del agua y la salud de los peces y camarones en los estanques acuícolas (Sonnenholzner y Boyd, 2000a). Aunque la calidad del fondo de los estanques ha sido reconocida por investigadores y acuicultores como un factor crucial para el desarrollo exitoso del cultivo, hay una falta de investigaciones sobre los rangos óptimos de variables químicas, físicas y biológicas del suelo (Boyd y Teichert-Coddington, 1994). Existen estudios que describen las propiedades de los suelos en estanques camaroneros (Morales et al., 1991; Boyd et al., 1994a; 1994b; Munsiri et al., 1996; Ritvo et al., 1998), pero pocos los han correlacionado con la producción y la salud de los organismos cultivados. La principal dificultad para establecer estas relaciones radica en la falta de piscinas experimentales adecuadas para realizar estos estudios (Rouse, 1968; Walsh y Beaton, 1973). La falta de información sobre las relaciones fisicoquímicas del suelo con la producción a menudo complica la interpretación de los análisis químicos del suelo (Boyd, 1995).

Los suelos en el fondo de los estanques actúan como reservorios de sustancias que se acumulan en el ecosistema del cultivo, y la concentración de varias de estas sustancias está influenciada por las prácticas de manejo, como la fertilización, la alimentación, y la concentración de sales y otros compuestos introducidos con el agua de llenado o recambio. Las variables del suelo más estudiadas y que tienen un impacto conocido en la calidad del agua y la salud del cultivo son la concentración de materia orgánica total, el contenido de azufre total, la acidez y el pH.

2.2.3. Biorremediación

La biorremediación es un método muy práctico para limpiar suelos contaminados, porque utiliza los mismos microorganismos que viven en el suelo y el subsuelo. Hay que recordar que en un principio se decía que el suelo y el subsuelo están formados por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y microorganismos. (Alfiansah, 2018)

Los microorganismos utilizados en la biorremediación son diferentes y pueden adaptarse a diferentes condiciones ambientales, esto permite que la biorremediación se aplique a diferentes tipos de hábitats y contextos, como suelos, aguas superficiales, aguas subterráneas y sedimentos. (Barik, 2018)

A diferencia de algunos productos químicos de remediación, la biorremediación generalmente produce subproductos menos tóxicos o potencialmente dañinos, generalmente con productos finales menos degradados. sustancias tóxicas e inofensivas. La biorremediación involucra varios microorganismos diferentes, cada uno de los cuales tiene un papel específico en la degradación de diferentes tipos de contaminantes. (Aquahoy, 2017)

2.2.4. Como lograr una biorremediación efectiva:

La biorremediación efectiva incluye factores físicos y químicos: agua, temperatura, pH, oxígeno, nutrientes mayores y menores.

Agua: El contenido de agua es uno de los factores de degradación más importantes, ya que entre el 80 y el 90% de la masa de las células bacterianas es agua. (Martínez, 2019)

pH: El valor del pH intracelular está entre 6,5 y 7,5, por lo que este es el rango de pH en el que el crecimiento de los microorganismos es óptimo. (Chávez-Crooker, 2010)

Temperatura: A medida que incrementa la temperatura, aumentan las reacciones químicas y enzimáticas en la célula. Para cada organismo existe una temperatura mínima por debajo de la cual no ocurre el crecimiento, una temperatura óptima a la que el incremento es más rápido y una temperatura máxima por encima de la cual no ocurre el crecimiento. El rango de crecimiento óptimo para la mayoría de las bacterias es de 20 a 35°C. (Chávez-Crooker, 2010)

Oxígeno: El oxígeno del suelo debe ser al menos del 1%. Cuando la concentración es menor, las reacciones de la respiración aeróbica se vuelven anaeróbicas. (Chávez-Crooker, 2010)

Nutrientes: La parte sólida de una célula bacteriana está formada por carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, fósforo y menores cantidades de potasio, sodio, calcio, magnesio, cloruros, hierro, etc. El componente más grande (50%) es el carbono. El accesorio degradable debe contener este elemento. (Chávez-Crooker, 2010)

2.2.5. Biorremediación In situ:

Si se conocen las propiedades de la contaminación y del suelo y se llega a la conclusión de que se puede aplicar la biorremediación, se debe decidir si la biorremediación se realizará en el mismo lugar donde se contamina el suelo. A esto se le llama biorremediación in situ. (Maldonado & Retamales, 2018)

2.2.6. Etapas de la biorremediación in situ

La biorremediación in situ consiste en estimular los microorganismos que viven en suelos contaminados con nutrientes y oxígeno. Este es un sistema muy similar a las técnicas tradicionales de tratamiento biológico de aguas residuales donde se agregan nutrientes y aire a los desechos orgánicos para facilitar la biodegradación en un reactor biológico. (Noriega, 2023)

En este caso, el biorreactor es el sustrato; aunque el reactor de aguas residuales no puede tener el mismo control que el suelo subyacente porque las muestras de suelo no son homogéneas como las muestras de agua. (Rivera, 2020)

2.2.7. Tipos de biorremediación

Para otras formas de biorremediación, la tierra contaminada debe ser removida y limpiada. Algunas de estas técnicas de biorremediación incluyen:

Biopilas: La técnica de la biopila consiste en formar pilas en suelo contaminado y estimular la actividad microbiana añadiendo aire, agua y fertilizantes que contienen nitrógeno y fósforo en un ambiente a temperaturas superiores a 15 °C. El aire es suministrado por un compresor mecánico. Las biopilas se construyen en capas de 30 cm de alto, y después de cada capa se coloca un tubo por el que se introduce aire, para que los microorganismos reciban suficiente oxígeno. (Santos, 2018)

Biolabranza: La tecnología de biorremediación consiste en airear el suelo almacenado en montones y añadir agua y fertilizantes. En este caso, la aireación se realiza con equipos mecánicos como tractores o retroexcavadoras. (Santos, 2018)

Bioaumentación: que utiliza microorganismos benéficos (bacterias, levaduras, etc.) que no forman parte del ambiente o no son nativos, se debe a que son mucho más efectivos para un propósito específico.

Bioestimulación: utiliza bacterias exógenas, estimula el crecimiento de bacterias naturales para la curación.

Fitoprotección: Es el uso de macro y microalgas para controlar el acceso de nutrientes al agua. La FDA (Administración de Medicamentos y Alimentos de EE. UU.) exige que no se utilicen antibióticos en la producción y la trazabilidad del producto para garantizar una adecuada gestión ambiental y la seguridad alimentaria. (Loaiza, 2008)

Las bacterias que viven en suelos contaminados ya se han adaptado a la sustancia contaminada y, por lo tanto, la resisten y no mueren. Con la cantidad

adecuada de oxígeno a través del aire, el agua y los fertilizantes, así como en un ambiente con la temperatura adecuada, estas bacterias crecen, se reproducen y "comen" la contaminación y la convierten en dióxido de carbono y agua, lo que debería reducir la contaminación. (Mendoza, 2018)

Aunque el método de biorremediación es muy eficaz para reducir la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, es mejor organizar la gestión de las instalaciones y las actividades de mantenimiento industrial y prevenir la contaminación. Siempre es más respetuoso con el medio ambiente y se reducen los costes. (Alfiansah, 2018)

2.2.8. Importancia de la biorremediación en Acuicultura

La biorremediación es el proceso de utilizar microorganismos vivos para mejorar las condiciones adversas de un estanque camaronero alterado por contaminantes y mantener un ecosistema estable y beneficioso para la producción sostenible. (Burbano-Gallardo, 2021)

La aplicación efectiva de estos protocolos al agua y al suelo del estanque reducirá los tiempos de producción de mariscos, aumentará el ciclo anual, aumentará el rendimiento y la supervivencia del camarón y mejorará la rentabilidad operativa al tiempo que minimiza los impactos ambientales negativos. (Mendoza, 2018)

Gracias a los avances tecnológicos, se han identificado y aislado bacterias específicas y efectivas para reducir las formas tóxicas de nitrógeno y nutrientes tipo fosfato que son indicadores de contaminación. (Mendoza, 2018)

Este tipo de bacteria se vende en el mercado como esporas liofilizadas y su uso es limitado. Si se aplican directamente sobre suelo podrido, es poco probable que crezcan. Sin embargo, cuando se aplican bacterias vivas a suelo podrido, necesitan una activación previa para mejorar el agua con nutrientes adicionales. (Merchan, 2017)

También evita problemas de contaminación provocados por bacterias probióticas. Biorremediación compatible con el medio ambiente, el agua y el suelo de los estanques de camarones. Aplicado directamente al agua o al suelo, modula el

perfil microbiano de las piscinas, descompone los residuos no deseados, aumenta la mineralización de la materia orgánica, reduce las condiciones anaeróbicas en el fondo de la piscina y reduce la acumulación de lodos. (Piedrahita, 2018)

Estos cambios ambientales positivos benefician el rendimiento y la supervivencia de los crustáceos desde la siembra hasta la cosecha, lo que da como resultado camarones de la más alta calidad que cumplen con los más altos estándares de sostenibilidad y trazabilidad. (Martínez, 2019)

2.2.8.1. Biorremediación del suelo

La biorremediación puede utilizar organismos del área contaminada o de otro lugar (de forma exógena), se puede realizar in situ o ex situ, en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno) o anaeróbicas (sin oxígeno). (Mendoza, 2018)

Aunque no todas las sustancias orgánicas son susceptibles a la degradación biológica, los procesos de biorremediación se han utilizado con éxito para tratar suelos, sedimentos y sedimentos contaminados con hidrocarburos de petróleo, solventes, explosivos, clorofenoles, pesticidas, conservantes de madera e hidrocarburos aromáticos policíclicos en procesos aeróbicos y anaeróbicos. (Martínez, 2019)

Además, se ha atrevido a desarrollar nuevas e innovadoras tecnologías como la fitorremediación, la electrorremediación y la electrobiorremediación. Si bien es cierto que la información es escasa hoy en día, investigaciones avanzadas respaldan su uso y están ganando popularidad. (Tejera, 2020)

Sin duda, hay muchas opciones que han demostrado ser exitosas, pero la elección de un método de tratamiento adecuado debe tener en cuenta:

- a) Características del sitio.
- b) Tipo de contaminante, concentración y características fisicoquímicas.
- c) Características fisicoquímicas y del suelo. tipo procesados.
- d) Costos.

Por otro lado, los lodos residuales o biosólidos son un subproducto del tratamiento biológico del agua doméstica, que sin un plan de tratamiento afecta el medio ambiente y la salud de los habitantes y por lo tanto son tratados como residuos peligrosos. (Navarrete, 2022)

Sin embargo, estos lodos residuales, si no contienen sustancias tóxicas, pueden ser compostados y utilizados para mejorar la calidad del suelo y estimular la población microbiana para promover la descomposición de contaminantes orgánicos, ya que son ricos en materia orgánica, macro y micronutrientes. (Tejera, 2020)

Además, los lodos de depuradora contienen una rica variedad de microbios, mucho más que cualquier suelo fértil. Dado que los microorganismos son los principales factores en la degradación de los contaminantes orgánicos en el suelo, un punto de partida es que aumentar la densidad de microbios en el suelo contaminado también puede acelerar la degradación de contaminantes orgánicos como los hidrocarburos. (Maldonado & Retamales, 2018)

De acuerdo con lo anterior, el proceso más comúnmente utilizado para la biorremediación y la variable controlada es la bioestimulación de los microorganismos naturales del suelo mediante la adición de nutrientes (fuente alternativa). (Alfiansah, 2018)

Este argumento se basa en que la entrada de grandes cantidades de carbono (hidrocarburos) altera el equilibrio natural de nutrientes en el sistema, provocando un rápido agotamiento de otros como el nitrógeno y el fósforo, frenando o deteniendo así el crecimiento bacteriano. Como ya se mencionó, las aguas residuales contienen altas concentraciones de nitrógeno inorgánico, fósforo y materia orgánica, lo que las hace ideales para estimular la actividad microbiana del suelo. (Mendoza, 2018)

Los lodos residuales pueden utilizarse como fuente alternativa de macro y micronutrientes, y al estimular la actividad microbiana se logra una mayor degradación de los hidrocarburos en el suelo cuando la concentración de patógenos, metales pesados y sustancias orgánicas tóxicas es baja. (Noriega, 2023)

Esta práctica es buena para el medio ambiente porque le da un propósito a lo que generalmente se trataba como basura. La biorremediación es un proceso de mineralización también conocido como compostaje. Este proceso se utiliza para estabilizar los lodos residuales y el producto es humus, que actúa como mejorador de las propiedades físicas del suelo. (Chávez-Crooker, 2010)

Al combinar suelo con hidrocarburos y lodos residuales se obtiene un suelo con mejores propiedades físicas y sin impurezas, apto para su uso en todas las actividades agrícolas. Con base en estos antecedentes y resolviendo el problema de suelos contaminados en la mina, el objetivo de este trabajo fue evaluar el proceso de biorremediación aeróbica como sistema de tratamiento, considerando el uso de lodos de depuradora como una fuente alternativa de nutrientes. (Chávez-Crooker, 2010)

2.2.8.2. Biorremediación del agua

A medida que la industria de la acuicultura se expande y se desarrolla, surgen varios desafíos. La intensificación de los sistemas de producción aumenta la presión sobre el medio ambiente, lo que puede afectar gravemente la calidad del agua y, por tanto, la actividad y las enfermedades de los peces y camarones. En acuicultura, el uso de bacterias beneficiosas (probióticos) está relacionado no solo con la salud intestinal, sino también con la biorremediación, que mejora el ambiente (agua y suelo) donde se crían los animales. (Fuenmayor, 2019)

El efecto de las cepas biodegradables (como *Bacillus* sp., *Paracoccus* sp., *Thiobacillus* sp.) añadidas directamente al agua incluye cambiar el perfil microbiológico de las piscinas, descomponer los residuos no deseados (amoníaco, nitrito, sulfuro de hidrógeno), mejorar la mineralización de sustancias orgánicas sustancia, reduce las condiciones anaeróbicas en el fondo del estanque y reduce la acumulación de lodos. (Coronel, 2019)

Por otro lado, las enzimas pueden ser un medio eficaz para descomponer la materia orgánica en sistemas de producción muy intensivos. Estos cambios positivos en el medio ambiente promueven la actividad y supervivencia del camarón desde la etapa larvaria hasta el crecimiento y engorde. (Rivera, 2020)

2.2.9. Especies de bacterias utilizadas.

Varias especies de bacterias se utilizan en la biorremediación de materia orgánica debido a su capacidad para descomponerse, descomponer y descomponer compuestos orgánicos, algunas de las especies bacterianas comúnmente utilizadas en este proceso son pseudomonas, bacillus, clostridium, Clostridium, Desulfovibrio, Rhodococcus, Acinetobacter, Streptomyces, Escherichia coli, Salmonella y Methanobacterium. (Isuiza, 2016)

2.2.10. Adaptación bacteriana.

Después de que las bacterias se introducen por primera vez en el medio ambiente, se debe preferir que las especies con mejor rendimiento y adaptación continúen el proceso de biorremediación monitoreando periódicamente la actividad bacteriana y el progreso de la degradación. (Mendoza, 2018)

Si la eficiencia disminuye, se pueden tomar medidas para optimizar las condiciones, por ejemplos en algunos casos ajustando el pH, la temperatura o la disponibilidad de nutrientes, es posible inducir mutaciones o modificar las bacterias para mejorar su descomposición o adaptación a condiciones ambientales específicas. (Piedrahita, 2018)

En lugar de una especie bacteriana, es posible utilizar combinaciones de microorganismos que trabajen juntos en diferentes etapas del proceso de biorremediación. Esto puede aumentar la eficiencia y la resiliencia al cambio ambiental. Con el tiempo, debido a la selección natural, dominarán las bacterias mejor adaptadas a las condiciones ambientales, lo que puede conducir al surgimiento de poblaciones bacterianas más eficientes y adaptadas. (Noriega, 2023)

2.2.11. Bacterias aeróbicas.

Las bacterias aeróbicas requieren oxígeno como receptor final de la cadena de transporte de electrones en su proceso de respiración celular. Además, sus enzimas y procesos metabólicos están adaptados para funcionar en presencia de oxígeno. (Maldonado & Retamales, 2018)

Estas bacterias realizan respiración aeróbica, un proceso metabólico muy eficiente que produce cantidades significativas de energía en forma de ATP. También descomponen la materia orgánica, liberando dióxido de carbono y agua como productos finales del proceso respiratorio. Además, juegan un papel importante en la mineralización de sustancias orgánicas en suelos y cuerpos de agua, permitiendo el reciclaje de nutrientes esenciales a otros organismos. (Novillo, 2020)

2.2.12. Bacterias anaeróbicas.

Las bacterias anaeróbicas viven y se reproducen sin oxígeno, a diferencia de las bacterias aeróbicas, no se utilizan como último receptor de electrones en la cadena de transporte. (Torres, 2019)

Estas bacterias realizan diversas formas de metabolismo anaeróbico, incluida la fermentación y la respiración anaeróbica, utilizando sustancias distintas al oxígeno como aceptores de electrones en sus procesos metabólicos. Son capaces de descomponer la materia orgánica en ambientes caracterizados por oxígeno limitado o ausente. Cabe mencionar que algunas bacterias anaeróbicas juegan un papel importante en la digestión en el sistema digestivo de diversos animales, incluido el ser humano. (Navarrete, 2022)

La biorremediación se puede utilizar para promover la restauración de ecosistemas dañados eliminando contaminantes y permitiendo que los sistemas naturales se recuperen. Esto es especialmente valioso en áreas donde los métodos tradicionales pueden ser más invasivos. (Dong, 2021)

Los microorganismos pueden modificarse genéticamente para mejorar su eficiencia a la hora de descomponer ciertos contaminantes o para sobrevivir en condiciones ambientales extremas, ampliando su potencial para abordar problemas graves de contaminación. En general, la biorremediación es bien recibida por el público en general y las comunidades locales debido a su enfoque natural y su capacidad para mejorar la calidad ambiental en lugar de simplemente enmascarar los contaminantes. (Fuenmayor, 2019)

2.2.13. Selección de bacterias:

Se deben entender las características del contaminante o material a tratar y el medio de cultivo es importante. Esto ayuda a identificar especies bacterianas que tienen propiedades metabólicas adecuadas para la degradación o transformación del objetivo. un contaminante Buscar en la literatura científica y en bases de datos para identificar bacterias que hayan demostrado ser eficaces en la degradación de contaminantes, así como observar microorganismos aislados de entornos similares. (Cuellar, 2015)

Realizar experimentos de laboratorio para evaluar la capacidad de las bacterias candidatas para degradar el contaminante en condiciones controladas. Esto puede incluir la determinación de la actividad enzimática y las tasas de degradación. Evaluar si las bacterias seleccionadas pueden sobrevivir y prosperar en un entorno de biorremediación específico, incluido el pH, la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de nutrientes. (Serrano, 2020).

Ciertas especies de bacterias son más eficientes que otras al momento de reducir los porcentajes de materia orgánica en el medio y disminuir los conteos de bacterias patógenas, como, por ejemplo:

Pseudomonas spp.: Este género de bacterias es conocido por su versatilidad y capacidad para degradar una amplia gama de contaminantes orgánicos, siendo eficaz para descomponer hidrocarburos y otras sustancias orgánicas anti residuales. (Cuellar, 2015)

Bacillus spp.: Otra clase de bacterias ampliamente utilizadas en biorremediación, con la capacidad de degradar materia orgánica y compuestos rebeldes. Además, algunos representantes del género Bacillus son capaces de formar esporas resistentes, lo que les permite sobrevivir en condiciones ambientales adversas. (Martínez, 2019)

Clostridium spp.: estas bacterias anaerobias juegan un papel esencial en la descomposición de la materia orgánica en un ambiente anóxico, son importantes

en la fermentación y descomposición de compuestos orgánicos complejos. (Martínez, 2019)

Desulfovibrio spp.: Son bacterias anaeróbicas que pueden disminuir los sulfatos y otros compuestos de azufre, promoviendo la descomposición de la materia orgánica en ambientes con poco oxígeno. (Martínez, 2019)

Rhodococcus spp.: Estas bacterias tienen una notable capacidad para reducir compuestos orgánicos y xenobióticos como hidrocarburos y contaminantes químicos. Son particularmente eficaces para descomponer compuestos rebeldes. (Martínez, 2019)

Acinetobacter spp.: Son bacterias ampliamente distribuidas en la naturaleza, conocidas por su capacidad para reducir diversos compuestos orgánicos, incluidos hidrocarburos y productos químicos industriales. (Martínez, 2019)

Streptomyces spp.: Este género de bacterias filamentosas es conocido por su papel en la descomposición de la celulosa y otros materiales vegetales, contribuyendo a la reducción de la materia orgánica en ambientes terrestres. (Martínez, 2019)

2.2.14. La interacción de las bacterias con la materia orgánica en el agua de cultivo.

La interacción de bacterias y materia orgánica en el agua de cultivo es un aspecto importante y apasionante de la acuicultura y la gestión de los ecosistemas acuáticos. En este proceso, ciertos microorganismos como las bacterias juegan un papel importante en la descomposición y transformación de la materia orgánica. En los ambientes acuáticos, esta interacción no solo afecta la calidad del agua, sino que también afecta directamente la salud y actividad de los organismos acuáticos que viven en estos ecosistemas. (Torres, 2019)

Estas bacterias también desempeñan un papel en el ciclo del nitrógeno del medio ambiente, que promueve la conversión de amonio, un subproducto del metabolismo tanto de los camarones como de otros organismos, en nitritos y luego

en nitratos. Estas sustancias ricas en nitrógeno son utilizadas por el fitoplancton y las algas como fuente de nutrientes. (Torres, 2019)

La presencia de bacterias en el medio acuático puede provocar competencia por los nutrientes disponibles, lo que puede afectar el equilibrio de la comunidad microbiana y el desarrollo del fitoplancton. Para evitar la proliferación no deseada de microorganismos, es necesario mantener el equilibrio adecuado. (Cabrera, 2022)

La actividad bacteriana puede afectar la calidad del agua al consumir oxígeno en el proceso de descomposición de la materia orgánica, en situaciones donde la carga de materia orgánica es alta, las bacterias pueden consumir oxígeno disuelto en el agua, generando hipoxia, situación que puede ser perjudicial para camarón. (Melgar, 2018)

Sin embargo, algunas bacterias pueden beneficiar a los camarones al competir con los patógenos y promover su salud general. La actividad bacteriana al descomponer la materia orgánica puede producir subproductos metabólicos y compuestos químicos que pueden cambiar la química del agua y la salud general del ecosistema acuático. (Boyd C. , Practicas de manejo para reducir el impacto ambiental del cultivo de camarón, 2017)

2.3. Marco legal

Constitución Ecuatoriana

Art. 14: Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 71: De la Constitución de la República del Ecuador, determina que la naturaleza tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los

colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema

Plan nacional de desarrollo

Objetivo 5 del Plan Nacional de desarrollo: Para lograr los objetivos de incrementar la productividad, agregar valor, innovar y ser más competitivo, se requiere investigación e innovación para la producción y transferencia tecnológica

Reglamento a la ley de Pesca y Desarrollo Pesquero

Art. 69.2: Quienes se dediquen a la actividad acuícola sólo podrán cultivar las especies autorizadas y deberán aplicar buenas prácticas de acuicultura y protocolos de bioseguridad y utilizar los insumos registrados ante la autoridad nacional competente. La captura de especies bioacuáticas en estado silvestre para ser utilizadas en la reproducción o cultivo será regulada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, previo informe técnico de la Autoridad Sanitaria Nacional.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación es de carácter cuantitativa, mediante la recolección de datos permite determinar el tipo de hipótesis de la investigación y mediante el análisis estadístico conoceremos el resultado de una forma segura.

3.1.2. Alcance de la investigación

El alcance de la presente investigación se clasifica como un estudio de tipo correlacional, dado que persigue una doble finalidad: por un lado, se identifica el tratamiento de biorremediación más eficaz mediante la manipulación controlada de diferentes variables independientes; por otro lado, se analiza las relaciones y correlaciones entre los resultados obtenidos con los diversos tratamientos aplicados y las variables dependientes asociadas.

3.1.3. Diseño de investigación

Se usa para la presente tesis un diseño de tipo Experimental con un modelo ANOVA estadístico completamente al azar con dos tratamientos y una piscina control, esto nos permite comparar los resultados obtenidos en cuanto a sobrevivencia, ganancia de peso y factor de conversión alimenticio en las piscinas en estudio.

3.2. Metodología

3.2.1. Variables

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

3.2.1.1. Variable independiente

Tratamientos: Biobac A y Pro-4000

3.2.1.2. Variable dependiente

Crecimiento semanal, sobrevivencia, factor de conversión alimenticia, Conteo de colonias de vibrios, Porcentaje de Materia orgánica y parámetros físicos químicos del agua.

3.2.2. Matriz de Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables dependientes

Variable dependiente				
Variab	Tipo	Nivel	de	Descripción
		medida		
Crecimiento semanal	Cuantitativo	Nominal		- Cuantos gramos creció la piscina con diferencia a la semana anterior
Sobrevivencia	Cuantitativo	Nominal		- Porcentaje de animales cosechados
FCA	Cuantitativo	Nominal		- Cuantos kilos de alimento son necesarios para obtener un kilo de camarón.
Conteo de colonias de vibrios	Cuantitativo	Nominal		- Unidades formadoras de colonia (UFC) por ml

Parámetros fisicoquímicos del agua	Cuantitativo	Nominal	- Amonio - Amoniaco - TAN - Nitritos - Nitratos - Sulfuro - Fosfatos.
Porcentaje de Materia orgánica	Cuantitativo	Nominal	- < 2.5%

Fuente: Genovesi, 2024.

Tabla 2. Operacionalización de variables independientes

Variables independientes				
Variables	Tipo	Nivel de medida	de	Descripción
Tipo de producto (T1 Biobac A / T2 Pro 4000x)	Cualitativa	Ordinal		- < 10 UFC - < 10 ³ UFC

Fuente: Genovesi, 2024.

3.2.3. Tratamientos

Tratamientos	Medidas de análisis	Dosis
T0 (Sin producto)	Se realizó cada 8 días	
T1 (Biobac A)	Se realizó cada 8 días	1 lt/Ha cada 30 días
T2 (PRO-4000)	Se realizó cada 8 días	200 gr/Ha semanal

Fuente: Genovesi, 2024.

3.3. Recolección de datos

3.3.1. Recursos

Equipos de laboratorio

Microscopio
Espectrofotómetro
Oxígenómetro
Salinómetro
Pipetas de 1, 5 y 10 ml
Pinzas
Tijeras
Porta y cubre objetos
Guantes
Agua destilada
Pastillas del espectrofotómetro
pHímetro

Equipos de campo

Fundas
Atarraya
Gaveta
Botas
Frascos para recolectar muestra de agua

Recursos Humanos

Tutor de tesis: Dra. Ivonne España García, MSc

Tutor estadístico: Ing. Rugel González David, MSc

Investigador: Anthony Genovesi Velasquez

3.4. Métodos y técnicas

Para la consecución del objetivo general, se lleva a cabo una serie de conteos microbiológicos del suelo utilizando medio de cultivo TCBS (Thiosulfato-Citrato-Bilis-Sacarosa). El procedimiento incluye la recolección de muestras de suelo de tres zonas diferenciadas de la piscina: entrada, zona de alimentación y salida. Las muestras de cada zona se combinarán para obtener una mezcla homogénea.

Posteriormente, se toman 10 gramos de la mezcla de suelo y se disolvieron en 20 ml de solución salina estéril. De esta suspensión, se inoculan en 10 microlitros sobre placas con medio TCBS. Tras la incubación, se procede a la observación y conteo de colonias bacterianas presentes. Este protocolo se repite semanalmente para asegurar una vigilancia continua de la carga bacteriana en el suelo.

Para lograr el primer objetivo específico se evalúa semanalmente la cantidad de alimento total suministrado a la piscina dividido para la cantidad de libras totales que se esperan al final a cosecha.

Para obtener el segundo objetivo específico se espera a la cosecha final de la piscina para obtener la cantidad de animales cosechados, luego se divide la cantidad de animales cosechados para la cantidad de animales sembrados luego multiplicado por 100 para obtener el porcentaje de sobrevivencia.

El tercer objetivo específico se obtiene al evaluar los beneficios que se adquiere de cada uno de los tratamientos realizados en base al costo obtenido y su injerencia en el costo de producción de una libra de camarón.

3.4.1. Técnicas

Calidad de agua

Para el análisis de la calidad de agua se utiliza el espectrofotómetro YSI 9500 el cuál sirve para el análisis químico del agua de las piscinas, se miden los siguientes parámetros:

AMONÍACO

La prueba se lleva a cabo mediante la adición de una tableta de Amonia 1 y de Amonia 2 y una muestra de agua de piscina. La intensidad del color producido en la prueba es proporcional a la concentración de amoníaco y se mide usando un YSI fotómetro.

Instrucciones para la prueba

1. Se Llena el tubo de ensayo hasta la marca de 10 ml
2. Se Añade una tableta de amoniaco n ° 1 y una tableta de amoniaco n ° 2 se trituro y se lo disuelve de manera correcta.

3. Se espera diez minutos para permitir la reacción.
4. Se Selecciona la prueba 4 el fotómetro para medir amoníaco en mg/L
5. Se Toma la lectura del fotómetro de la forma habitual.

ALCALINIDAD (ALKAPHOT)

La prueba YSI Alkaphot usa un método colorimétrico único y utiliza una sola tableta de reactivo. La prueba se lleva a cabo mediante la adición de una tableta más una muestra de agua.

Procedimiento de la prueba

1. Se Llena el tubo de ensayo con el agua de la piscina hasta la marca de 10 ml
2. Se Agrega una tableta Alkaphot, se tritura y se mezcló de manera adecuada
3. Se selecciona la prueba 2 en el fotómetro.
4. El resultado se obtiene en mg/L

NITRITOS

Procedimiento de prueba

1. Se llena el tubo de ensayo con la muestra hasta el indicador de 10 ml que presenta el tubo.
2. Se añade la tableta de Nitricol se tritura y se mezcla de manera adecuada
3. Se espera diez minutos para permitir el desarrollo de la reacción completa.
4. Se Selecciona la prueba 21 para obtener el resultado como mg/L Ca.

Crecimiento del animal

Para registrar el crecimiento del animal se realiza el siguiente procedimiento, se realizan lances de atarraya en zona de alimentación y por fuera de la misma, los animales que se capturan se llevan a la orilla de la piscina donde se realiza el peso de los mismos en grupos, se pesan 4 o 5 grupos de animales se obtiene el peso en total y luego se lo divide para el total de los animales por grupo para obtener el peso por animal, el cual es restado al peso de la semana anterior lo que nos dio por resultado el crecimiento semanal.

3.5. Población y muestra

La población y muestra que se usa para el estudio fue la siguiente:

3.5.1. Población

El estudio se lleva a cabo en una camaronera del grupo corporativo LANEC en el sector de Malsa ubicado en la parroquia Taura del cantón Guayaquil dicha camaronera cuenta con alrededor de 400 HA y 20 piscinas de producción de camarón

3.5.2. Muestra

Se usan 3 piscinas, 2 piscinas de tratamiento y una piscina control, las piscinas usadas como tratamientos fueron: la piscina 2 que cuenta con 4.5 Ha y la piscina 9 con 4.12 Ha, y la piscina control será la piscina 15 que cuenta con 4.22 Ha, las piscinas descritas anteriormente presentan igualdad de condiciones, la toma de agua de las 3 es la misma, se siembra la misma cantidad de animales, con uso de alimentación automática y aireación eléctrica.

3.6 Análisis estadístico

Para realizar un análisis estadístico detallado y comprender mejor el comportamiento de los datos, se dispuso diversas medidas de tendencia central. Estas medidas, que incluyen la media (o promedio) mediana y moda, la cual permite resumir y caracterizar el conjunto de datos al proporcionar una visión general del valor central alrededor del cual se agrupan la mayoría de los datos. La media nos ofrece una medida aritmética del valor central, la mediana nos ayuda a identificar el punto medio de la distribución, y la moda nos indica el valor más frecuente. Juntas, estas medidas proporcionan una perspectiva integral sobre cómo se distribuyen los datos y nos ayudan a identificar patrones o anomalías en el comportamiento del conjunto analizado.

Para llevar a cabo un análisis estadístico exhaustivo y comprender a fondo la variabilidad y la dispersión dentro del conjunto de datos, se emplean diversas medidas de dispersión. Estas medidas, que incluyen el rango, la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación, permiten evaluar cómo se distribuyen los datos en torno a la medida de tendencia central. El rango nos ofrece una idea básica de la extensión total de los datos al considerar la diferencia entre el valor máximo y el

mínimo. La desviación estándar facilita una medida de cuánto se desvían, en promedio, los datos individuales respecto a la media, ofreciendo una visión más detallada de la dispersión. La varianza, que es el cuadrado de la desviación estándar, permite calcular la magnitud de la variabilidad de manera más matemática. Finalmente, el coeficiente de variación nos ayuda a comparar la dispersión relativa entre diferentes conjuntos de datos, independientemente de sus unidades de medida. Juntas, estas medidas proporcionan una comprensión completa de la variabilidad y dispersión en el conjunto de datos, permitiendo una evaluación más precisa de la distribución y el comportamiento de los datos analizados.

Para comparar la eficacia de los dos tipos de tratamientos y la de control se utilizan pruebas paramétricas o no paramétricas de acuerdo con el comportamiento de los supuestos con el método de ANOVA.

4. RESULTADOS

En la presente investigación se mide el efecto de dos protocolos de biorremediación sobre la producción de camarones del género *Litopenaeus vannamei*, obteniendo en la investigación de campo los siguientes resultados de acuerdo a los objetivos planteados.

Se selecciona muestras de la piscina 2 donde se cumple el tratamiento 1, el cual tiene 4.5 hectáreas desde el 1/10/2024 hasta 29/12/2024. En cuanto a las muestras de la piscina 9 donde se ejecuta el tratamiento 2, el cual tiene 4.12 hectáreas desde 1/10/2024 hasta el 29/12/2024. Y por último las muestras de la piscina 15 donde se practica el tratamiento de control, el cual tiene 4.22 hectáreas desde el 1/10/2024.

4.1. Comparación de Factor de conversión alimenticia (FCA) y sobrevivencia obtenidos entre los dos protocolos de biorremediación.

Tabla 3. Análisis descriptivo de valores de Sobrevivencia y FCA

TRATAMIENTO 1						
Medida T1	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación	Mediana	Moda	Varianza
Sobrevivencia	88%	0,072	8%	9.1	93%	0,004
FCA	1.28	0,081	6%	1.25	1,2	0,006
TRATAMIENTO 2						
Medida T2	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación	Mediana	Moda	Varianza
Sobrevivencia	88%	0,071	8%	9.1	92%	0,005
FCA	1.29	0,085	7%	1.25	1,210	0,007
TRATAMIENTO CONTROL						
Medida T0	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación	Mediana	Moda	Varianza
Sobrevivencia	87%	0,0732	8%	9	92%	0,004913889
FCA	1.32	0,0941	7%	1.30	1,23	0,008124306

Elaborado: Genovesi, 2024.

Sobrevivencia

El análisis descriptivo de los valores de sobrevivencia, presentado en la Tabla 3, muestra los siguientes resultados en términos de promedio: para el tratamiento T1, el promedio fue de 88%; para T2, 88%; y para la piscina control, 87%. Se observa que los tratamientos T1 y T2 presentan valores de sobrevivencia similares entre sí y ligeramente superiores al control, lo que sugiere que los tratamientos ayudaron a mantener la sobrevivencia en las piscinas a diferencia de la piscina control que presenta una sobrevivencia ligeramente más baja. En cuanto a la desviación estándar, los valores fueron de 0.072 para T1, 0.071 para T2 y 0.0732 para la piscina control. Esta similitud en la dispersión indica que la variabilidad en los valores de sobrevivencia fue prácticamente la misma en los tres casos, con un coeficiente de variación del 8% en todos los tratamientos. También podemos observar una mediana con valores muy similares del 9.1 para el T1 y T2, para el control fue de 9, con esto podemos notar que no hay mucha diferencia en sus valores. En cuanto a la moda, los valores fueron de 0.93 para el T1, 0.92 para T2 y 0.920 para la piscina control, con esta se puede ver que no hay muchas diferencias entre los valores. Y por último la varianza con valores de 0.004 para el T1, 0.005 para T2 y 0,00491 para la piscina control. Los datos obtenidos para la realización de la presente tabla se encuentran en el Anexo 1.

FCA

El análisis de los valores de FCA, que se observan en la tabla 3, muestra que los promedios obtenidos fueron 1.28 en T1, 1.29 en T2 y 1.32 en el grupo control. Se puede notar que los tratamientos presentaron valores ligeramente inferiores en comparación con la piscina control, lo que sugiere una posible mejora en la eficiencia de conversión alimenticia. En cuanto a la dispersión de los datos, la desviación estándar fue de 0.081 en T1, 0.085 en T2 y 0.0941 en la piscina control. Esto indica que los valores de FCA fueron más estables en los tratamientos, mientras que en la piscina control hubo una mayor variabilidad. En cuanto al coeficiente de variación podemos observar que no hay mucha diferencia entre el T1 que tiene 6% con el 7% del T2 y piscina control. En cuanto a su mediana tenemos valores similares para el

T1 y T2 1.25 con respecto a la piscina control 1.30, ya que no hay muchas diferencias en sus valores. En cuanto a su moda tenemos valores de 1.2 para el T1, 1.2 para el T2 y para la piscina control 1.23 esto nos quiere decir que no hay mucha diferencia entre sus valores. Y en cuanto a la varianza tenemos valores de 0.006 para el T1, 0.007 para el T2 y 0.00812 para la piscina control. Los datos obtenidos para la realización de la presente tabla se encuentran en el Anexo 1.

Tabla 4. Análisis ANOVA de valores de Supervivencia

	ANOVA Supervivencia				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	1.1667	0.5833	0.059	0.943
Error	33	326.9167	9.9065		
Total	35	328.0833			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis de varianza realizado a los valores de supervivencia no muestra diferencias significativas en la tasa de supervivencia entre los tratamientos, ya que el valor p (0.943) es muy superior al valor p de 0.05. Esto indica que los tratamientos aplicados no tuvieron un impacto considerable en la supervivencia de los camarones. Las medias de los tratamientos son bastante similares, lo que nos indica que los camarones se comportaron de manera comparable en términos de supervivencia independientemente del grupo al que pertenecían.

Tabla 5. Análisis ANOVA de valores de Factor de conversión alimenticia (FCA)

	ANOVA FCA				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.0227	0.0114	0.798	0.459
Error	33	0.4727	0.0143		
Total	35	0.4954			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El resultado del ANOVA realizado a los valores de FCA muestra que el valor p (0.459) es muy superior al valor p de 0.05, lo que sugiere que no se observaron diferencias significativas en los valores de FCA entre los tratamientos T1, T2 y Control. Aunque se observan pequeñas diferencias en las medias, estas no son lo suficientemente relevantes como para que haya diferencias estadísticas significativas

4.2 Análisis sobre la calidad física química del agua y suelo de dos protocolos de biorremediación.

Tabla 6. Análisis descriptivo de los valores de Calidad de agua.

Parametro	Tratamiento	Media	Desviación Estandar	Coefficiente Variacion	Mediana	Moda	Varianza
TAN	T1	0.79	0.03	4%	0.80	0,81	0,00105
	T2	0.82	0.02	2%	0.82	0,82	0,000291
	T0	0.85	0.02	3%	0.85	0,85	0,0005186
Amoniac	T1	0.0146	0.0030	20.56%	0.01	0,014	8,2431E-06
	T2	0.0219	0.0036	16.21%	0.02	0,019	0,0000116
	T0	0.0278	0.0023	8.29%	0.03	0,029	4,8542E-06
Nitrito	T1	0.178	0.002	1.6%	0.18	0,178	0,0000075
	T2	0.185	0.002	1.3%	0.19	0,182	0,0000056
	T0	0.200	0.004	2.1%	0.20	0,198	0,0000164
Nitrato	T1	2.80	0.107	3.8%	2.87	2,91	0,01061
	T2	2.82	0.103	3.7%	2.87	2,91	0,0099
	T0	2.96	0.198	6.7%	3.11	3,11	0,0360662
Fosfato	T1	0.981	0.038	4%	0.98	1,01	0,0013576
	T2	1.068	0.036	3%	1.06	1,08	0,0005743
	T0	1.100	0.034	3%	1.10	1,09	0,00105
Sulfuro	T1	0.032	0.017	54%	0.03	0,05	0,0002639
	T2	0.045	0.013	29%	0.05	0,05	0,0001583
	T0	0.058	0.008	14%	0.06	0,06	0,0000639

Elaborado: Genovesi, 2024.

4.2.1. TAN

El análisis de los valores de TAN, observados en la Tabla 6, muestra que el promedio registrado fue de 0.79 mg/L en T1, 0.82 mg/L en T2 y 0.85 mg/L en la piscina control. Se observa una tendencia en la que los tratamientos presentan valores ligeramente inferiores al grupo control, lo que nos indica que pudieron contribuir a una reducción de TAN en el agua. En cuanto a la dispersión de los datos, la desviación estándar fue de 0.03 en T1, 0.02 en T2 y 0.02 en la piscina control. Los coeficientes de variación indican que la variabilidad relativa es baja en todos los grupos, con 4% en T1, 2% en T2 y 3% en la piscina control. Con respecto a la mediana tenemos valores de 0.80 para el T1, 0.82% para el T2 y 0.85% en la piscina control, esto nos quieren decir que los valores del TAN del T2 y piscina control se encuentran más elevados que la T1. En cuanto a la moda sus valores fueron para la T1 de 0.81, para la T2 de 0.82 y para la piscina control de 0.85. Y por último tenemos a la varianza con 0.00105 para el T1, 0.000291 para el T2 y 0,0005186 para la piscicina control, estos nos indica que el T1 fue mejor ya dio menos valores que el T2 y piscina control.

4.2.2. Amoníaco

En la tabla 6 se observan los valores de Amoniaco donde se obtuvieron los siguientes resultados en términos de los valores promedio: para T1, el promedio fue de 0,0146 mg/L; para T2, 0,0219 mg/L; y para la piscina control, 0.0278 mg/L. Aunque los valores de T1 y T2 fueron relativamente similares, se observa una diferencia significativa entre los tratamientos y la piscina control, lo que nos indica es que el nivel promedio de amoníaco fue más bajo en el tratamiento T1. En cuanto a la desviación estándar, esta fue de 0.0030 para T1, 0.0036 para T2 y 0.0023 para la piscina control. Estos resultados indican una ligera mayor dispersión en los valores de T2 en comparación con T1 y la piscina control. En cuanto con al coeficiente de variación tenemos valores del 21% en el T1, un 16% en el T2 y un 8% para la piscina control, lo que nos indica que hay una ligera diferencia entre sus valores. En cuanto a la mediana encontramos valores que no tienen mucha diferencia como el del 0.01 para el T1, 0.02 para el T2 y 0.03 para la piscina control. En cuanto a la moda sus valores son 0.014 para el T1, 0.019 para el T2 y 0.029 para la piscina control, estos nos indica que los T1 y T2 tienen una mejoría con respecto a la piscina control. Y por último

tenemos a la varianza con valores de $8,2431E-06$ para el T1, $0,0000116$ para el T2 y $4,8542E-06$ para la piscina control.

4.2.3. Nitrito

El análisis descriptivo de los valores de nitritos, presentado en la Tabla 6, muestra los siguientes resultados en términos de promedio: para el tratamiento T1, el promedio fue de 0.178 mg/L; para T2, 0.185 mg/L; y para la piscina control, $0,200$ mg/L. Se observa una ligera diferencia entre las piscinas tratadas con biorremediadores y la piscina control, lo que nos indica que los tratamientos tuvieron un efecto moderado sobre los niveles de nitritos. En cuanto a la desviación estándar, los valores fueron de 0.02 para T1 y T2, mientras que para la piscina control fue de 0.004 . Esta diferencia en la dispersión indica que las piscinas tratadas con biorremediadores (T1 y T2) muestran una mayor variabilidad en los valores de nitritos en comparación con la piscina control, que tiene una dispersión significativamente menor. En cuanto a al coeficiente de variación nos encontramos con valores del 2% para el T1, 1% para el T2 y un 2% para la piscina control. Con respecto a la mediana tenemos valores de 0.18 para el T1, 0.19 para el T2 y 0.20 para la piscina control, encontrando una ligera diferencia entre sus valores. En cuanto a la moda nos encontramos con valores de 0.178 en el T1, 0.182 en el T2 y 0.198 para la piscina control, encontrando que los valores del T1 son ligeramente bajos al T2 y con gran diferencia en la piscina control. Con respecto a la varianza tenemos valores de $0,0000075$ para la T1, $0,0000056$ para la T2 y $0,0000164$ para la piscina de control.

4.2.4. Nitrato

El análisis descriptivo del parámetro nitrato, presentado en la Tabla 6, reveló los siguientes valores promedio: para el tratamiento T1, el promedio fue de 2.80 mg/L; para T2, 2.82 mg/L; y para la piscina control, 2.96 mg/L. La diferencia entre los tratamientos con biorremediadores y la piscina control fue mínima, indicando una influencia moderada de los tratamientos en los niveles de nitrato. En cuanto a la desviación estándar, los valores fueron de 0.107 para T1, 0.103 para T2 y 0.198 para la piscina control. Este último valor muestra una mayor dispersión en los datos de la piscina control, lo que sugiere una mayor variabilidad en los niveles de nitrato en

comparación con los tratamientos T1 y T2. Con respecto al coeficiente de variación tenemos valores similares del 4% para los T1 y T2 a diferencia del 7% de la piscina control que se encuentran más elevados sus valores. En cuanto a la mediana nos encontramos con valores relativamente iguales del 2.87 en el T1 y T2 a diferencia con el 3.11 de la piscina control, que nos indica que el nitrato está muy elevado en comparación a los otros tratamientos (T1 y T2). En cuanto a la moda tenemos valores de 2.91 para la T1, 2.91 para la T2, y 3.11 para la piscina control, esto nos quiere decir que T1 y T2 tiene valores menores a la piscina de control. Y por último tenemos a la varianza con valores de 0.01061 para la T1, 0.0099 para la T2 y 0,0360662 para la piscina de control.

4.2.5. Fosfato

El análisis descriptivo de los valores de fosfato, presentado en la Tabla 6, muestra los siguientes resultados en términos de promedio: para el tratamiento T1, el promedio fue de 0.981 mg/L; para T2, 1.068 mg/L; y para la piscina control, 1.100 mg/L. Lo que indica que hubo diferencia entre las piscinas que tuvieron tratamiento con biorremediadores y la piscina de control, demostrando que el tratamiento con T1 tuvo mejor resultado en el control de este parámetro. En cuanto a la desviación estándar, los valores fueron de 0.038 para T1, 0.036 para T2 y 0.034 para la piscina control. Esta diferencia indica que el tratamiento T1 muestra una mayor variabilidad en los valores de fosfato en comparación con T2 y la piscina control, que presentan una dispersión ligeramente menor. Con respecto al coeficiente de variación tenemos valores del 4% para el T1, 2% para el T2, y 3% para la piscina control, podemos observar que no hay mucha diferencia entre sus valores. En cuanto a la mediana contamos con valores del 0.98 para la T1, 1.06 para la T2, y 1.10 para la piscina control, aquí si encontramos una ligera dispersión entre sus datos con respecto al T1 que es menor al T2 y piscina control. Con respecto a la moda tenemos valores de 1.01 para la T1, 1.08 para la T2 y 1.09 para la piscina de control, podemos observar que ligeramente la T1 es mejor a diferencia de la T2 y con la piscina control ya que tienen valores similares. Y por último la varianza nos encontramos con valores de 0,0013576 para el T1, 0,0005743 para el T2, y 0,00105 para la piscina control.

4.2.6. Sulfuro

El análisis descriptivo de los valores de sulfuro, presentado en la Tabla 6, muestra los siguientes resultados en términos de promedio: el tratamiento T1, el promedio fue de 0.032 mg/L; para T2, 0.045 mg/L; y para la piscina control, 0.058 mg/L. Se observa una diferencia entre las piscinas tratadas y la piscina control, lo que nos indica que los tratamientos redujeron los niveles de sulfuro, siendo T1 el tratamiento con mayor efectividad. En cuanto a la desviación estándar, los valores fueron de 0.017 para T1, 0.013 para T2 y 0.008 para la piscina control. Esta diferencia en la dispersión indica que el tratamiento T1 muestra una mayor variabilidad en los valores de sulfuro en comparación con T2 y la piscina control, que presentan una dispersión de datos mucho menor. Con respecto al coeficiente de variación tenemos valores del 54% para la T1, 29% para la T2, y 19% para la piscina control, estos nos indica que hubo una mejoría con respecto a los valores de dispersión a la T2 y piscina control. En cuanto a la mediana contamos con valores del 0.03 para la T1, 0.05 para la T2 y 0.06 para la piscina control, podemos observar una ligera dispersión de sus valores. En cuanto a la moda tenemos valores de 0.05 para la T1, 0.05 para la T2 y 0.006 para la piscina control, viendo que no hay mucha diferencia entre sus valores de dispersión. Y por último a la varianza contamos con valores de 0,0002639 para la T1, 0,0001583 para la T2, y 0,0000639 para la piscina control.

4.2.7. Suelo

Tabla 7. Análisis descriptivo de los valores de Porcentaje de Materia Orgánica

Medida	Media	Desviación Estandar	Coficiente Variación	Mediana	Moda	Varianza
T1	2.54	0.5%	20%	2.72	N/D	0,226985
T2	2.86	0.3%	10%	2.85	3,1	0,069074
T0	3.45	0.3%	10%	3.4	3,4	0,107583

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis descriptivo de los valores de materia orgánica, presentado en la Tabla 7, muestra los siguientes resultados en términos de promedio: para el tratamiento T1, el promedio fue de 2.54; para T2, 2.86, y para la piscina control, 3.45. Se observa una reducción en los niveles de materia orgánica en las piscinas tratadas

con respecto a la piscina control, lo que nos indica que los tratamientos tuvieron un efecto sobre la disminución de este parámetro, siendo T1 el tratamiento con la menor concentración promedio. Con respecto a su desviación estándar contamos con valores de 0.5% para el T1 y contamos con una similitud de valores de 0.3% para el T2 y piscina control. En cuanto al coeficiente de variación tenemos valores del 20% para el T1 y también tenemos valores similares del 10% para el T2 y piscina control. Con respecto a la mediana contamos con valores de 2.72 para el T1, 2.85 para el T2, y 3.4 para la piscina control, que nos indica que existe una dispersión de datos con respecto al T1 que tiene valores menores en comparación al T2 y piscina control. En cuanto a la moda tenemos valores de 0 o nulos para el T1, 3.1 para el T2, 3.4 para la piscina control. Y por último contamos con la varianza que tenemos valores de 0.226985 para el T1, 0.069074 para el T2, y 0.0107583 para la piscina control.

Tabla 8. Análisis ANOVA de valores de TAN

	ANOVA TAN				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.0487	0.02435	17.38	0.00000699
Error	33	0.0463	0.0014		
Total	35	0.095			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis de varianza realizado para los valores de TAN muestra un valor p extremadamente bajo 0.00000699, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados (T1, T2 y Control). Se observó que T1 es el tratamiento con los valores menores en promedio de TAN, lo que indica una mayor efectividad en la reducción de este parámetro.

Tabla 9. Análisis ANOVA de valores de Amoníaco

	ANOVA Amoníaco				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.00052	0.00026	58.22	0.000000000015
Error	33	0.00015	0.000005		
Total	35	0.00067			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis ANOVA realizado a los valores de amoníaco muestra un valor p extremadamente bajo 0.000000000015, lo que indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en cuanto a la concentración de amoníaco. Se observa que T1 y T2 presentan valores más bajos en comparación con el grupo de control, siendo T1 el que logró mantener la menor concentración promedio. El valor p extremadamente bajo es un reflejo que los tratamientos tuvieron un alto impacto en los valores de amoníaco a lo largo de las 12 semanas que se llevó a cabo el estudio.

Tabla 10. Análisis ANOVA de valores de Nitrito

	ANOVA Nitrito				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.00653	0.00327	143.63	5.18×10^{-17}
Error	33	0.00075	0.00002		
Total	35	0.00728			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis ANOVA realizado a los valores de Nitrito muestra un valor p extremadamente bajo (0.000000000000000005, lo que indica diferencias estadísticas significativas en los valores de nitrito entre los tratamientos evaluados. Se observa que el T1 logro valores de nitrito ligeramente más bajos que el T2 y la piscina control lo que sugiere que el T1 fue el tratamiento más efectivo para mantener los niveles de nitritos bajos a lo largo de las 12 semanas del estudio

Tabla 11. Análisis ANOVA de valores de Nitrato

	ANOVA Nitrato				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.0927	0.04635	4.78	0.015
Error	33	0.3198	0.00969		
Total	35	0.4125			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis ANOVA realizado a los valores de nitrato muestra que el valor p (0.015) es menor al valor p usualmente usado de 0.05 por lo que existen diferencias estadísticas entre los grupos analizados. Al comparar los promedios de los grupos analizados, se observa que T1 y T2 muestran valores menores de nitrato en comparación a la piscina control, lo que nos indica que ambos tratamientos pudieron haber contribuido a una reducción efectiva de este compuesto a lo largo del tiempo.

Tabla 12. Análisis ANOVA de valores de Fosfato

	ANOVA Fosfato				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.0208	0.0104	40.59	0.000000128
Error	33	0.0085	0.00026		
Total	35	0.0293			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El resultado del análisis ANOVA realizado a los valores de Fosfato indica que el valor p 0.000000128 es mucho menor que el valor usualmente utilizado de 0.05, lo que implica que existen diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones de fosfato entre los tratamientos T1, T2 y el Control. Se observo que el T1 presento una media de fosfatos menor que los otros grupos por lo que se puede deducir que este fue el tratamiento para mantener y reducir los niveles de fosfato a lo largo de las 12 semanas que duro el estudio.

Tabla 13. Análisis ANOVA de valores de Sulfuro

	ANOVA Sulfuro				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0.00195	0.000975	12.07	0.00012
Error	33	0.00267	0.000081		
Total	35	0.00462			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis estadístico ANOVA realizado a los valores de Sulfuro muestra un valor p (0.00012) menor al valor p establecido de 0.05, lo que indica diferencias importantes entre los tratamientos analizados. Los valores de concentración de sulfuro presentan una variación notable entre los tratamientos y el grupo de control, lo que sugiere que los tratamientos aplicados pudieron influir en los resultados obtenidos a lo largo del estudio, donde el T1 presentó los valores más bajos de este compuesto a lo largo de las 12 semanas del estudio lo que indica que fue el más efectivo para disminuir la cantidad de este compuesto en las piscinas.

Tabla 14. Análisis ANOVA de valores de Materia Orgánica (MO)

	ANOVA MATERIA ORGANICA				
Medida	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	5.51553889	2.75776944	33.8958459	9.98E-09
Error	33	2.68488333	0.0813601		
Total	35	8.20042222			

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis estadístico observado en la tabla 5 se observa un valor p de 9.98E-09 lo que indica diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se observó que T1 y T2 tuvieron valores menores de materia orgánica con respecto al control durante las 12 semanas que duro el estudio, lo que nos indica que ambos tratamientos contribuyeron a mantener controlados los valores de materia orgánica dentro del

estudio siendo el T1 quien obtuvo los valores de materia orgánica más bajos durante el estudio por lo que fue el más efectivo para disminuir este parámetro.

4.3 Identificación del mejor protocolo de biorremediación en relación costo – beneficio.

Tabla 15. Análisis Costo – Beneficio

Variable	T1	T2	Control
<i>Días de Cultivo</i>	92	92	92
<i>Densidad (i/ha)</i>	172,000	172,400	174,000
<i>Densidad (i/m2)</i>	17	17	17
<i>Peso de Siembra</i>	0.80	0.74	0.79
<i>Peso pesca (g)</i>	27.00	26.44	24.77
<i>Biomasa pesca final (Lb/ha)</i>	7,560.00	7,320.00	6,921.88
<i>Producción (Lb/ha)</i>	7,560	7,320	6,922
<i>Crec. Semanal (g)</i>	1.99	1.96	1.82
<i>Crec. Día (g)</i>	0.28	0.28	0.26
<i>Sobrevivencia (%)</i>	74%	73%	73%
<i>Alimento Acumulado (Lb/ha)</i>	9,601	9,516	9,068
<i>Alimento Acumulado (Kg/ha)</i>	4,355	4,316	4,113
<i>FCA</i>	1.27	1.30	1.31
<i>Rendimiento planta (%)</i>	95%	95%	95%
<i>Costo Fijo (\$/ha/día)</i>	\$ 37	\$ 37	\$ 37
<i>Costo AB (\$/Kg)</i>	\$ 1.47	\$ 1.47	\$ 1.47
<i>Costo Larva (\$/millar)</i>	\$ 5.60	\$ 5.60	\$ 5.60
Total, Costo/Lb	\$ 1.50	\$ 1.54	\$ 1.59
Utilidad/ha/día	\$ 36.7	\$ 31.6	\$ 24.4
ROI	31%	27%	22%

Elaborado: Genovesi, 2024.

En la tabla 15 se muestra el análisis costo-beneficio realizado para las piscinas, donde se observó que la piscina tratada con T1 logró el mayor rendimiento, alcanzando una producción de 7,560 lb/Ha, en su crecimiento semanal presento (1.99

g/semana), respecto al costo de alimentación en el T1 presentó un costo de balanceado más alto (1.47/Kg), lo que logro una mayor utilidad, alcanzando \$36.7/Ha.

Con respecto a la piscina tratada con T2 se vio superado con 7.320 lb/Ha, en su crecimiento semanal no fue mucha la diferencia con un (1.96 g/semana), su costo de alimentación en T2 presento un costo de balanceado de (\$1.47/kg), donde se obtuvo una utilidad de \$31.6/Ha.

En el T0 se observó los cambios a nivel rendimiento de producción con un 6.922 lb/Ha, en su crecimiento semanal se evidencio un cambio menor a los dos tratamientos con un (1.82 g/semana), mientras que en el T0 tuvo un alimento de menor costo con (1.47/kg), lo que generó una meno utilidad con \$24.4/Ha.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación, que se realizó en la camaronera LANEC, durante las 12 semanas que duró el estudio, respaldan la hipótesis previamente planteada sobre la efectividad de los tratamientos de biorremediación en la disminución de la prevalencia de bacterias del género *Vibrio spp* en estanques de cultivo de *Litopenaeus vannamei*.

El T1, muestra en los resultados una reducción significativa en las colonias de *Vibrio spp*, alcanzando valores máximos de 499 UFC/g, frente a la piscina control que presento 5130 UFC/g una reducción bastante considerable, este resultado coincide con las estudios realizadas por Martínez (2019), el cual observa una reducción de los conteos de colonias bacterianas y una mejora en la calidad del suelo después de aplicar periódicamente bacterias probióticas en sistemas de producción camaronera, a su vez se observa una variabilidad de los datos en el T1 donde se obtiene un coeficiente de variación de 73% lo que nos indica que este fue el protocolo más estable en sus efectos, lo que coincide con el estudio de Navarrete (2022), quien observo que piscinas con mejores y más consistentes protocolos de biorremediación lograron alcanzar estabilidad en el medio reduciendo presencia de ciertos contaminantes que afectan el crecimiento y la salud del animal como lo es la materia orgánica.

En cuanto a la sobrevivencia, aunque no se obtuvieron resultados relevantes, ambos tratamientos son capaces de mantener una media de 88% siendo 1% superior a la piscina control, estos resultados coinciden con los presentados por Merchán (2017), que evaluó el impacto de tres cepas diferentes de bacterias en la salud de los camarones, el cual observó una mejora en la sobrevivencia en las piscinas cuando se les aplica bacterias probióticas ya que estas son capaces de desplazar a los patógenos oportunistas como lo son las bacterias del género *Vibrios spp*, con respecto al FCA Castro (2021), que examinó la eficacia de ciertas bacterias en la biorremediación de ambientes acuáticos, observó que los probióticos no influyen en este factor ya que estos no mejoran la digestibilidad y absorción de los nutrientes que el alimento balanceado le aportaba al camarón, la presente investigación difiere ya

que los tratamientos 1 y 2 lograron mejorar ligeramente el FCA obteniendo 1.28 y 1.29 de media respectivamente a diferencia de la piscina control que tiene un valor de 1.30, al mejorar las condiciones del medio acuático se puede lograr que el camarón aproveche de mejor manera los nutrientes aportados.

A nivel de calidad de agua se observa una mejora de la piscina a la cual se le aplico el T1 en relación con las otras piscinas en estudio, los parámetros como Nitritos, Nitrato, TAN, Amoníaco, Sulfuro y fosfatos presentan una disminución en su concentración y se mantuvieron estables a lo largo de las 12 semanas de estudio siendo el tratamiento más efectivo, Mendoza 2018 en su estudio de diferentes cepas bacterianas en piscinas camaroneras, coincide con que la aplicación de bacterias de buena calidad ayudan a mantener un medio equilibrado reduciendo la concentración de compuestos tóxicos lo que permite que la calidad de agua se mantenga estable a lo largo del cultivo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Ambos tratamientos lograron obtener una tasa de sobrevivencia donde su media fue de 88%, pero se vio una diferencia notable al final de las 12 semanas del estudio, lo que indica que la aplicación de biorremediadores favorece un entorno más propicio para el desarrollo de los organismos, además que se obtuvo un menor FCA en las piscinas que fueron tratadas con T1 obteniendo un valor de 1.28 media, seguido del T2 con 1.29 y la piscina control con 1.32

A nivel calidad de agua se obtuvieron mejoras notables en la piscina tratada con el T1 donde los diferentes parámetros: TAN, nitrito, nitrato, fosfato, sulfuro y amoníaco se comportaron de manera estable donde las medias de cada parámetro fueron: 0.79 en TAN, 0.0146 en Amoniaco, 0.178 en Nitrito, 2.80 en Nitrato, 0.981 en Fosfato y 0.032 en el Sulfuro

Al final de las 12 semanas del estudio, la piscina T1 logró obtener mejores réditos económicos obteniendo una mayor biomasa al momento de la pesca, logrando un incremento de 9.4% por libra con respecto al control, además la utilidad diaria por Ha fue mayor en T1 logrando \$36.9/Ha/día en comparación a T2 \$32.5/HA/día y el control con \$26.6/Ha/día, por lo que podemos concluir que el T1 fue el tratamiento más rentable. En general, los resultados indican que el uso del protocolo de biorremediación con el T1 no solo mejora la producción y la eficiencia alimenticia, sino que también reduce los costos de producción y aumenta significativamente la rentabilidad del cultivo de *Litopenaeus vannamei*.

6.2. Recomendaciones

Implementar el uso de T1 en producción camaronera debido al impacto que se obtiene en sobrevivencia y la mejora en FCA que al final se convierten en réditos económicos para la finca, incrementando la ganancia obtenida al momento de realizar la cosecha.

Capacitar al personal encargado del manejo de los biorremediadores y establecer protocolos efectivos de preparación que permitan mejorar el impacto de los mismos en el medio además de realizar monitoreos periódicos de parámetros de calidad de agua que permita asegurar la efectividad de los productos utilizados.

Realizar investigaciones complementarias para evaluar la efectividad de los protocolos en distintas condiciones ambientales y con diferentes condiciones de cultivo para así establecer dosis óptimas que permitan eficientizar el uso de los mismo obteniendo resultados iguales o superiores.

Bibliografía

- Alfiansah, Y. R. (2018). *Bacterial abundance and community composition in pond water from shrimp aquaculture*. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02457>
- Andaluz, J. (2017, Junio). Camarón ecuatoriano: Historia de caídas, aprendizaje y consolidación. *Diario El Correo*.
- Aquahoy. (2017). Mercado del Camarónq. *Aquahoy*.
- Barik, P. H. (2018). Study on nitrifying bacteria as biorremediador of ammonia in simulated aquaculture system. *Journal of entomology and zoology studies* .
- Barman, D. (2020). *Bioremediation of Waste Waters and Application in Aquaculture - A Mini Review*. Retrieved from Research Biotica: . <https://doi.org/10.54083/resbio.2.1.2020.20-25>
- Boyd, C. (2017). *Prácticas de manejo para reducir el impacto ambiental del cultivo de camarón*. Alabama, Estados Unidos.
- Boyd, C. (2018). *Prácticas de Manejo para Reducir el Impacto Ambiental del Cultivo del Camarón. Métodos para Mejorar la Camaronicultura en Centroamérica*. Colombia.
- Boyd, C. E. (2021). *Litopenaeus vannamei en Ecuador*. *World Aquaculture Society*. . Retrieved from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jwas.12818>
- Burbano-Gallardo, E. D.-N.-F.-L.-D. (2021). *Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamez, Colombia*. . Retrieved from Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 22(2). : <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1581>
- Cabrera, N. (2022). *Repositorio Universidad técnica de Machala* . Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19772/1/ECUACA-2022-IAC-DE00008.pdf>
- Carrera, N. Í. (2020). *Breve historia de la acuicultura y salmonicultura en el sur de Chile(1856-2000)*. . Retrieved from RTR. Revista Territorios y Regionalismos, 3(3).: <https://doi.org/10.29393/rtr3-3ncbh10003>
- Castro, J. (2021, Septiembre 15). *Repositorio UCSG*. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/17185/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-180.pdf>
- Chávez-Crooker, P. &.-C. (2010). *Bioremediation of aquaculture wastes*. . Retrieved from Current Opinion in Biotechnology, 21(3), 313–317.: <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2010.04.001>

- Coronel, K. I. (2019). *Evaluación del activador enzimático en la disminución de la materia orgánica en estanques de camarones*. Retrieved from Universidad de Guayaquil. : <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39970>
- Cuellar, J. (2015). *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO PARA EL CULTIVO DEL CAMARÓN BLANCO Penaeus vannamei*. New Concept.
- Dong, D. S. (2021). *Improving microbial bioremediation efficiency of intensive aquacultural wastewater based on bacterial pollutant metabolism kinetics analysis*. Retrieved from Chemosphere, 265.: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129151>
- Fuenmayor, G. J. (2019). Crecimiento de la cianobacteria marina *Oscillatoria* sp. MOF-06 en relación al pH en cultivos discontinuos. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 21-25.
- Isuiza, B. M. (2016). *Efecto de microorganismos eficaces (EM) en la biorremediación de agua y lodo de estanques piscícolas. Pucallpa, Perú*. Retrieved from Universidad Nacional de Ucayali. : <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3248>
- Loaiza, A. F. (2008). *Aislamiento e identificación de microorganismos del suelo de piscinas de camarón contaminado con materia orgánica. Universidad Internacional SEK*. Retrieved from <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2429>
- Maldonado, M., & Retamales, R. (2018). AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE CEPAS BACTERIANAS DE AMBIENTES NATIVOS Y SU APLICACIÓN BIORREMEDEDORA EN EL CULTIVO DEL CAMARÓN BLANCO *Litopenaeus Vannamei*. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales*.
- Martínez, L. (2019). Camaronicultura Mexicana y Mundial ¿Actividad sustentable o industria contaminante? *Rev. Int. Contam, Ambient*, 181-196.
- Melgar, C. (2018). Efecto de microorganismo con potencial probiótico en la calidad de agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei*. *Rev. Biol. Trop.*, 1215-1228.
- Mendoza, O. (2018). *Universidad Internacional de Andalucía*. Retrieved from https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/549/0100_Mendoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Merchan, F. (2017). RELACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA CON LA COMUNIDAD EN SUELOS DE PISCINAS DE CULTIVO DE LITOPENAEUS VANNAMEI . 4-5. Retrieved from <http://www.anmat.gov.ar/webanmat/publicaciones/triquinosis.pdf>

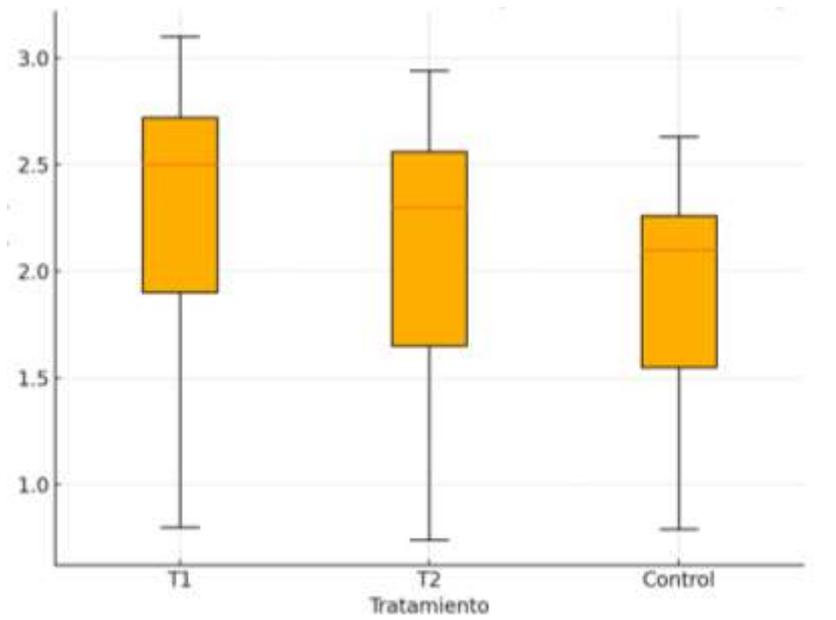
- Navarrete, J. e. (2022). Biorremediación de efluentes del cultivo de camarón por medio de consorcios microbianos autóctonos y microalgas nativas en Manabí, Ecuador. *Aquatechnica*, 53 - 65.
- Newman, S. (2022, Mayo 2). *Global Seafood Alliance*. Retrieved from <https://www.globalseafood.org/advocate/una-actualizacion-sobre-la-vibriosis-la-principal-enfermedad-bacteriana-que-enfrentan-los-camaroneros/>
- Noriega, W. (2023). *Caracterización molecular de bacterias con capacidad biorremediadora, aislados de canales de marea aledaños a zonas de cultivo de Langostino de tumbes*. Retrieved from <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/64006/TESESIS%20-%20NORIEGA%20ALCANTARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Novillo, G. (2020). *Uso de biorremediadores en piscinas camaroneras (tesis de pregrado)*. Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1684>
- Piedrahita, Y. (2018, Julio 23). *Global Seafood Alliance*. Retrieved from <https://www.globalseafood.org/advocate/la-industria-de-cultivo-de-camaron-en-ecuador-parte-1/>
- Rivera, M. (2020, Enero). *Ecuanoicias*. Retrieved from <https://ecuanoticias.com.ec/acuacultura.html>
- Santos, G. (2018). *Aquafeed*. Retrieved from <https://aquafeed.co/entrada/el-papel-de-la-biorremediacion-en-el-manejo-de-la-calidad-del-agua-20399/>
- Serrano, S. (2020). *CALIDAD DEL SUELO, FUNDAMENTAL PARA UN CULTIVO ACUÍCOLA SALUDABLE*. Retrieved from <https://www.tierraymarec.com/calidad-del-suelo-fundamental-para-un-cultivo-acuicola-saludable/>
- Tejera, B. R. (2020). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 131-138.
- Torres, C. (2019). *Biorremediación del agua recirculante en el cultivo intensivo de camarón blanco, utilizando microbiota autoctona del ecosistema del mangle rojo*. Retrieved from https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10867/Torres_rw.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villamil, L. M. (2019). Probióticos como Herramienta Biotecnológica en el Cultivo del Camarón. *Reseña. Bol. Invest. Mar. Cost.*, 165-187.

ANEXOS

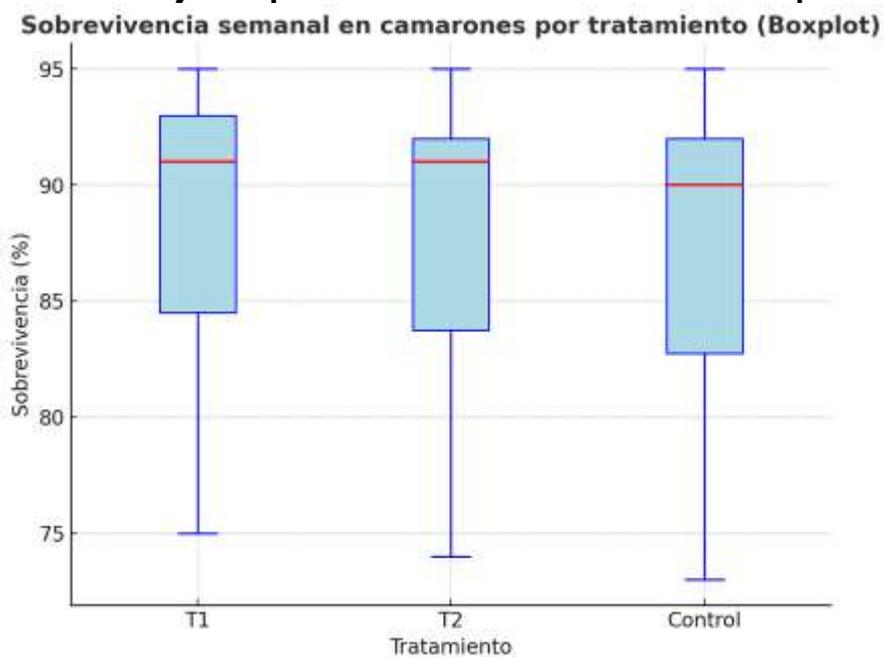
ANEXO 1. Valores del ANÁLISIS DESCRIPTIVOS de la Supervivencia y FCA (Factor de conversión alimenticia)

MUESTRAS	T1	T2	C
SOB	95%	95%	95%
FCA	1,18	1,2	1,19
SOB	95%	95%	95%
FCA	1,19	1,21	1,22
SOB	93%	92%	92%
FCA	1,2	1,21	1,23
SOB	93%	92%	92%
FCA	1,2	1,21	1,23
SOB	93%	92%	92%
FCA	1,23	1,25	1,27
SOB	91%	91%	90%
FCA	1,25	1,25	1,3
SOB	91%	91%	90%
FCA	1,25	1,25	1,3
SOB	88%	88%	87%
FCA	1,31	1,33	1,37
SOB	86%	85%	84%
FCA	1,35	1,36	1,42
SOB	80%	80%	79%
FCA	1,37	1,4	1,43
SOB	78%	77%	77%
FCA	1,37	1,4	1,43
SOB	75%	74%	73%
FCA	1,4	1,42	1,44

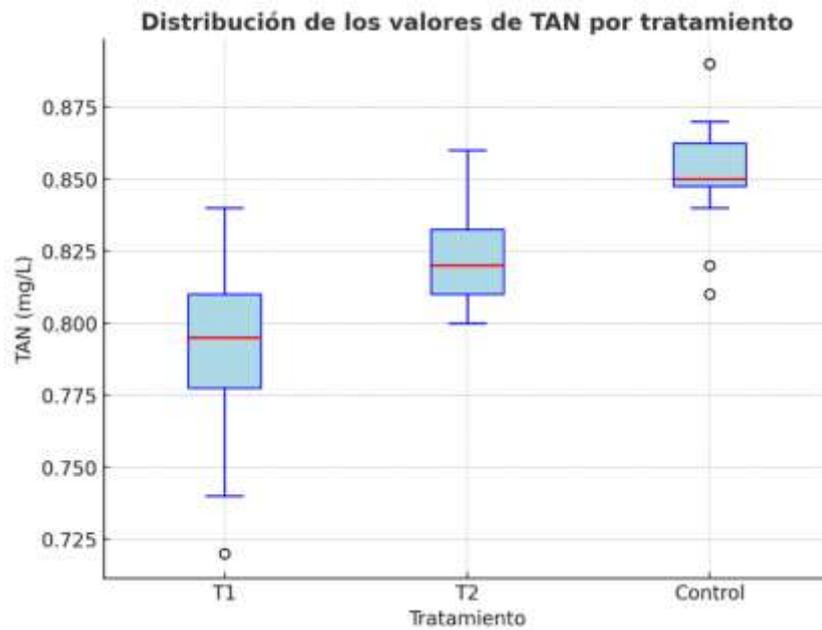
Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 2: Gráfico de cajas comparativo del factor de conversión alimenticia entre los tratamientos

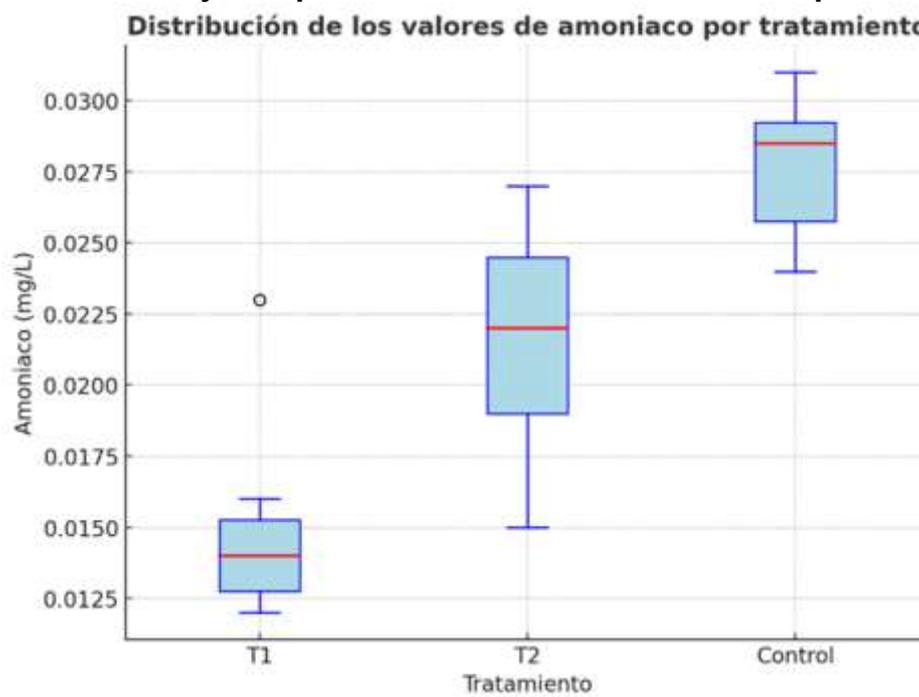
Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 3: Grafica de caja comparativa de la sobrevivencia semanal por tratamiento

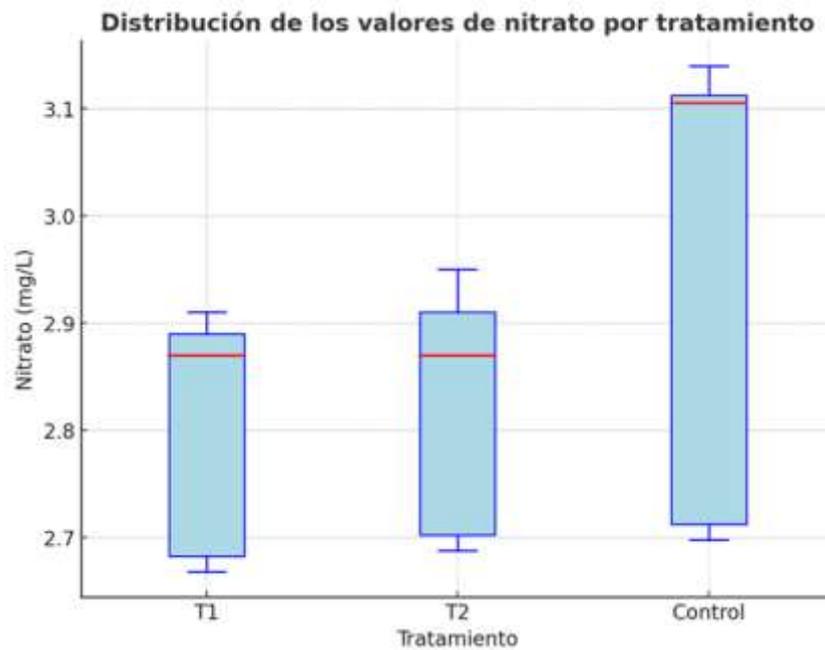
Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 4: Grafica de caja comparativa de los valores de TAN por tratamiento

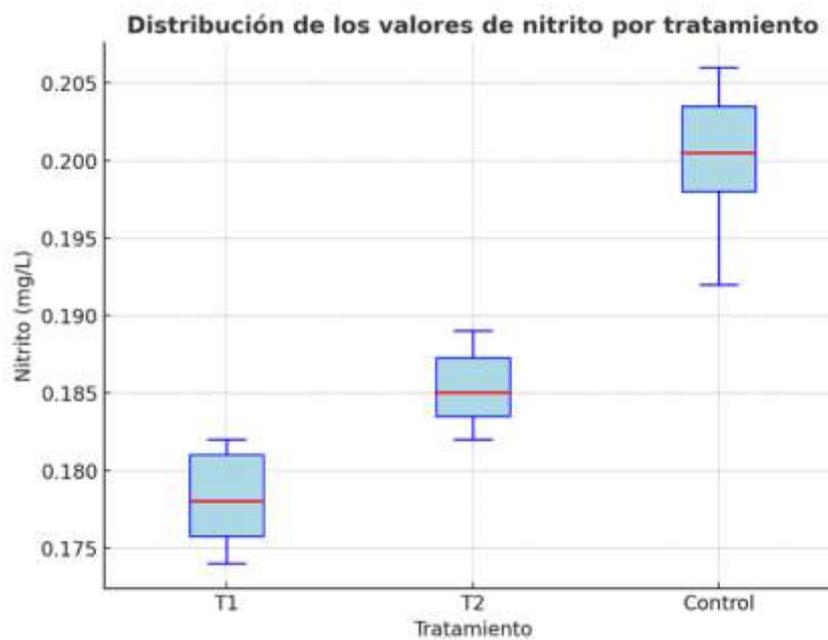
Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 5: Grafica de caja comparativa de los valores de Amoníaco por tratamiento

Elaborado: Genovesi, 2024

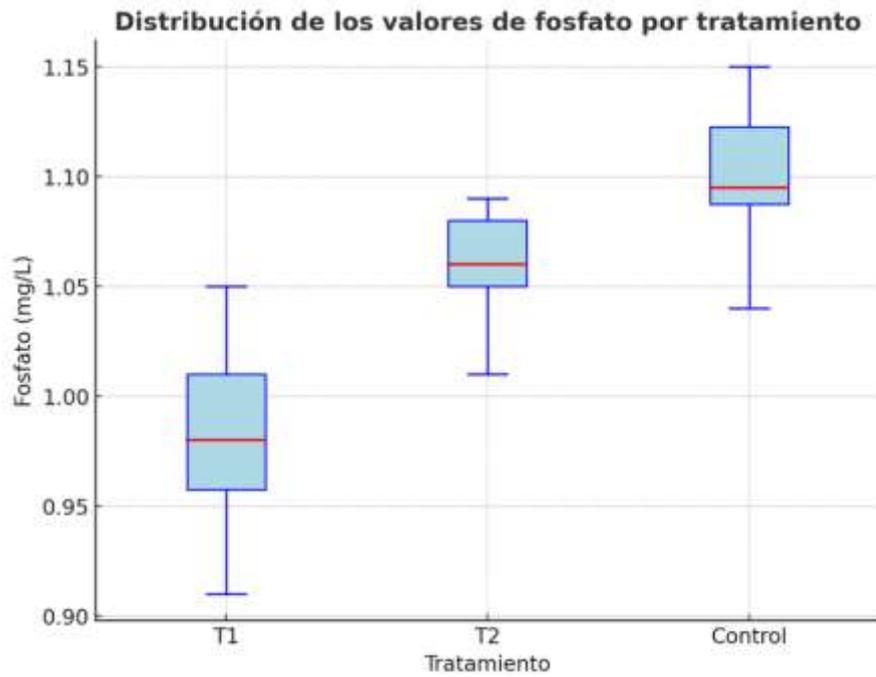
ANEXO 6: Grafica de caja comparativa de los valores de Nitrato por tratamiento

Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 7: Grafica de caja comparativa de los valores de Nitrito por tratamiento

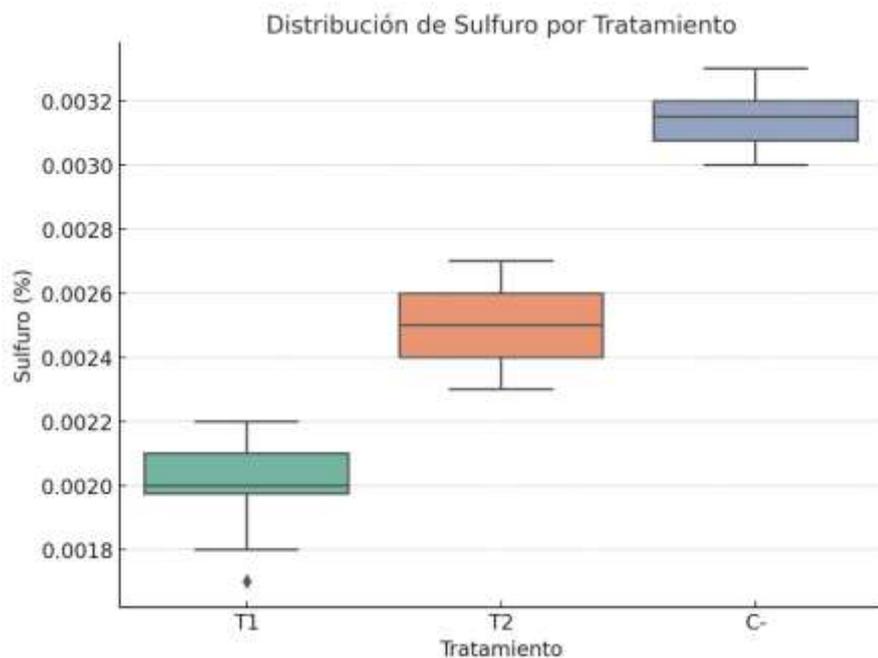
Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 8: Grafica de caja comparativa de los valores de Fosfato por tratamiento



Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 9: Grafica de caja comparativa de los valores de Sulfuro por tratamiento



Elaborado: Genovesi, 2024.

ANEXO 10: Grafica de caja comparativa de los valores de Materia Orgánica por tratamiento

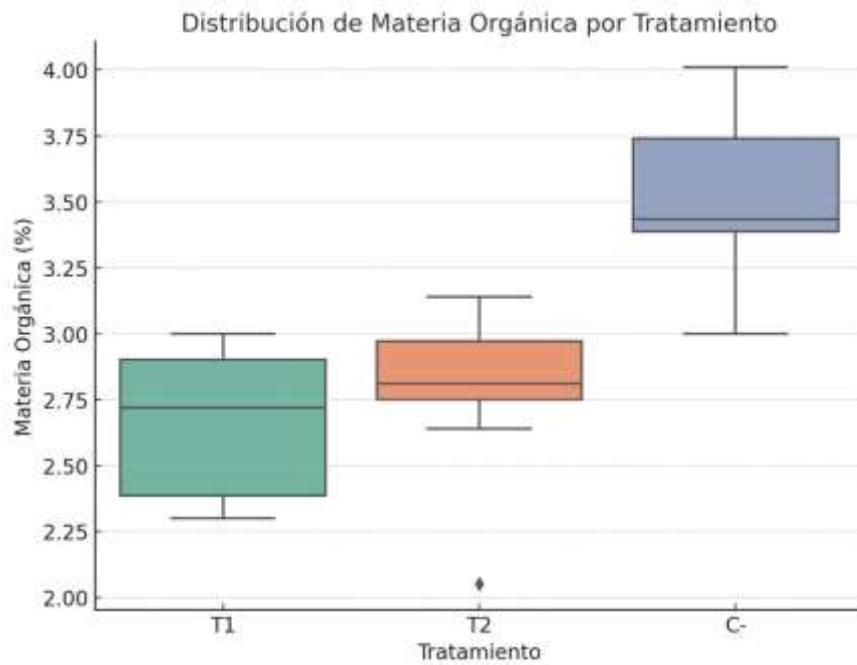


FIGURA 1: Análisis de Materia Orgánica.



Fuente: Genovesi, 2024

FIGURA 2: Muestreo Piscinas en estudio



Fuente: Genovesi, 2024

FIGURA 3: Muestreo de calidad de agua

Fuente: Genovesi, 2024

FIGURA 4: Muestreo para cultivo bacteriano

Fuente: Genovesi, 2024

FIGURA 5: Testeo protocolos previo a la aplicación



Fuente: Genovesi, 2024

APENDICE

Conteo de Vibrios

Tabla 16. Análisis descriptivo de valores de Vibrios en suelo

UFC VIBRIOS			
MEDIDA	X	DS	CV
T1	4.99E+02	361.827	73%
T2	2.17E+03	3211.77	148%
CONTROL	5.13E+03	9530.58	186%

Elaborado: Genovesi, 2024.

El análisis de los valores de UFC de Vibrios en suelo, observado en la Tabla 16, muestra diferencias significativas entre los tratamientos y la piscina control. El promedio de unidades formadoras de colonias fue de 499 UFC/g en T1, 2170 UFC/g en T2 y 5130 UFC/g en la piscina control. Estos resultados sugieren que los tratamientos redujeron la presencia de Vibrios en el suelo en comparación con la piscina sin tratamiento, con T1 mostrando la menor concentración.

En cuanto a la dispersión de los datos, la desviación estándar fue de 361.83 en T1, 3211.77 en T2 y 9530.58 en la piscina control. Los coeficientes de variación reflejan una mayor variabilidad relativa en T2 (148.3%) y en la piscina control (185.8%), mientras que en T1 fue menor (72.5%), lo que indica que los valores en este tratamiento fueron más consistentes en comparación con los otros grupos.

Respecto a los valores extremos, el número más bajo de colonias se registró en T1 con 40 UFC/g, mientras que el valor máximo más alto se encontró en la piscina control con 31,000 UFC/g. En los tratamientos, los valores oscilaron entre 40 y 950 UFC/g en T1, y entre 120 y 10,400 UFC/g en T2. Esto sugiere que el tratamiento T1 fue el más efectivo en reducir la presencia de Vibrios, presentando además la menor variabilidad en sus valores. En general, los resultados indican que los tratamientos, especialmente T1, contribuyeron a la disminución de la carga de Vibrios en el suelo en comparación con la piscina control, donde se registraron las concentraciones más altas y la mayor dispersión en los datos.