



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

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE COCTELES BACTERIANOS
EN LA REDUCCIÓN DEL FÓSFORO Y SUS IMPACTOS
COLATERALES EN GRANJAS DE CULTIVO DE *PENAEUS
VANNAMEI*.**

AUTOR

BLGO. CARLOS ALBERTO CORTEZ IPERTY

**TRABAJO DE TITULACIÓN
Previo a la obtención del grado académico en
MAGÍSTER EN ACUICULTURA**

TUTORA

AC. SONNYA PATRICIA MENDOZA LOMBADA, PHD.

Santa Elena, Ecuador

Año 2025

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia en los momentos más difíciles de este camino.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme el valor del esfuerzo y la educación. Este logro también es suyo.

A mi tutora, Ac. Sonnya Mendonza. PhD., por su apoyo constante, su paciencia infinita y por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

Y a mí mismo, por no rendirme, por levantarme después de cada caída, y por seguir adelante con pasión y compromiso.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme dado la salud, la fortaleza y la claridad mental para completar esta etapa tan exigente de mi vida académica.

A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y por haber sido mi ejemplo constante de esfuerzo y honestidad. A mi familia en general, por su apoyo, sus palabras de aliento y su comprensión en los momentos en que tuve que ausentarme emocional o físicamente para cumplir con este reto.

A mi tutora, por su guía, paciencia y compromiso durante todo el proceso. Gracias por su disposición a compartir sus conocimientos y por exigirme siempre un trabajo de calidad.

Agradezco también al equipo de docentes de la primera cohorte de la maestría de acuicultura, por brindarme los recursos necesarios para el desarrollo experimental de esta investigación. Su apoyo técnico y humano fue fundamental.

A mis compañeros y amigos de posgrado, por las horas compartidas de estudio, estrés, aprendizajes y también de risas, que hicieron de esta experiencia algo mucho más llevadero.

Y finalmente, gracias a todos quienes, de una u otra forma, contribuyeron a que este trabajo fuera posible. Cada palabra, gesto o ayuda silenciosa dejó huella en este camino.

APROBACIÓN DEL TUTOR

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

TUTORA

AC. SONNYA MENDOZA LOMBADA, PHD.

15 días del mes de julio del año 2025.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Econ. Roxana Álvarez Acosta, PhD.
**COORDINADORA DEL
PROGRAMA**

Ac. Sonnya Mendoza Lombada, PhD.
TUTOR

Blga. Dennis Tomalá Solano MSc.
ESPECIALISTA 1

Ing, Jimmy Villón Moreno, MSc.
ESPECIALISTA 2

Ab. María Rivera González, Mgt.
SECRETARIA GENERAL

AUTORIZACIÓN DERECHOS DE AUTOR

Yo, Carlos Alberto Cortez Iperty

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

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

Santa Elena, a los 15 días del mes de julio del año 2025.

EL AUTOR

Blgo. Carlos Alberto Cortez Iperty

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Carlos Alberto Cortez Iperty**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE COCTELES BACTERIANOS EN LA REDUCCIÓN DEL FÓSFORO Y SUS IMPACTOS COLATERALES EN GRANJAS DE CULTIVO DE *Penaeus vannamei*”, previo a la obtención del título en Magíster en Acuicultura, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Santa Elena, a los 15 días del mes de julio del año 2025.

EL AUTOR

Blgo. Carlos Alberto Cortez Iperty

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO.....	III
APROBACIÓN DEL TUTOR	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	V
AUTORIZACIÓN DERECHOS DE AUTOR.....	VI
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	VII
INDICE GENERAL	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
PROBLEMÁTICA.....	15
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS	16
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
HIPÓTESIS	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.2. <i>Penaeus vannamei</i>	20
2.2.1. <i>Generalidades de Penaeus vannamei</i>	20
2.2.2. <i>Clasificación Taxonómica</i>	21
2.2.3. <i>Anatomía interna del camarón</i>	21
2.2.4. <i>Anatomía externa del camarón</i>	22
2.3. Producción de camarón <i>Penaeus vannamei</i> en Ecuador	23
2.4. Importancia del control del fosforo en la acuicultura.....	25
2.4.1. <i>Contaminación por fósforo en acuicultura</i>	26
2.5. Biorremediación Microbiana en Acuicultura	26
2.5.1. <i>Conceptos Fundamentales de la Biorremediación Microbiana</i>	27
2.6. Agentes biorremediadores	28
2.6.1. <i>Cepas Bacterianas de Interés en Acuicultura</i>	29
2.7. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura.....	32
2.7.1. <i>Alcance de la Biotecnología Acuícola</i>	32
2.7.2. <i>Aplicación de Productos Biotecnológicos para el Ambiente Acuícola</i>	34
2.7.3. <i>Uso de Cocteles Bacterianos en Acuicultura</i>	37
2.7.3.1. <i>Bacterias usadas en acuicultura</i>	37

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1. Enfoque.....	39
3.2. Área de estudio	39
3.3. Diseño experimental	39
3.4. Mantenimiento y preparación de piscinas	41
3.4.1. <i>Eliminar de depredadores y competidores</i>	42
3.4.2. <i>Conteo de algas</i>	43
3.5. Transferencia	44
3.6. Manejo de engorde	45
3.7. Parámetros fisicoquímicos.....	47
3.8. Análisis de suelo	48
3.9. Eficacia productiva	49
3.10. Análisis estadístico	49
4.1. Análisis de Homogeneidad las Condiciones iniciales del Suelo	51
4.2. Materia Orgánica y Relación Nitrógeno-Fósforo Final en Suelo.....	53
4.3. Relación Nitrógeno-Fósforo y su Correlación con el Fitoplancton.....	56
4.4. Indicadore productivos	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	92
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Taxonómica <i>Penaeus vannamei</i>	21
Tabla 2. Rol de Bacterias en Sistemas Acuático	28
Tabla 3. Grupos Fitoplanctónicos y su Potencial en Procesos de Biorremediación.....	30
Tabla 4. Estrategias biotecnológicas relacionadas en la acuicultura	33
Tabla 5. Manejo de Nutrientes y Calidad del Agua en Sistemas BFT	35
Tabla 6. Potencial de bacterias en la calidad del agua.....	37
Tabla 7. Dispersión de alimento para el camarón.....	46
Tabla 8. Análisis de Oxígeno.....	47
Tabla 9. Descriptivos Iniciales de M.O. y Relación N:P.....	52
Tabla 10. Prueba de homogeneidad.....	52
Tabla 11. ANOVA.....	53
Tabla 12. Descriptivos finales de M.O. y Relación N/P.....	54
Tabla 8. Prueba de homegenidad.....	55
Tabla 14. ANOVA.....	56
Tabla 15. Medias y D.E. de parámetros químicos y fitoplancton por cóctel.....	60
Tabla 16. ANOVA para los parámetros físico-químicos y biológicos	61
Tabla 17. Tukey-temperatura	63
Tabla 18. Tukey-nitrógeno total	64
Tabla 19. Tukey-N:P	66
Tabla 20. Tukey – cel/mL.....	67
Tabla 21. Tukey – cel/mL.....	69
Tabla 22. Resultados del análisis de varianza indicadores productivos	70
Tabla 23. Tukey-supervivencia	71
Tabla 24. Resultados del Biomasa.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Penaeus vannamei</i>	20
Figura 2. Anatomía interna de <i>Penaeus vannamei</i>	22
Figura 3. Anatomía externa de <i>Penaeus vannamei</i>	23
Figura 4. Tendencia de exportaciones de <i>Penaeus vannamei</i> en libras y dólares (2010-2024).....	25
Figura 5. Zona de muestreo	42
Figura 6. Zona de muestreo	44
Figura 7. Resultado de medias de materia orgánica final.....	54
Figura 8. Resultado de medias de relación N/P final	55
Figura 9. Resultado de medias de parámetros químicos	57
Figura 10. Resultado de medias de fitoplancton	58
Figura 11. Resultado de medias de temperaturas	63
Figura 12. Resultado de medias de nitrógeno total	65
Figura 13. Resultado de medias de N/P.....	66
Figura 14. Resultado de medias de total de cel/ml.....	68
Figura 15. Resultado de medias de supervivencia.....	72
Figura 15. Resultado de medias de Biomasa.....	73
Figura 16. Resultados de análisis de componentes principales.....	73

RESUMEN

Este estudio abordó la problemática de la acumulación de nutrientes y sus impactos colaterales en granjas de camarón. El objetivo principal fue evaluar la eficacia de dos cócteles bacterianos en la mejora de la relación N:P en suelo y agua, la materia orgánica del suelo, y los indicadores productivos de *Penaeus vannamei*. La investigación se realizó en 12 piscinas experimentales, operando en un sistema semi-intensivo, sembradas con *P. vannamei*. Los tratamientos fueron dos cócteles bacterianos (T1 y T2) y un grupo control, con tres réplicas por tratamiento, se evaluaron la materia orgánica y la relación N:P en suelo incluyendo su correlación con el fitoplancton), así como los indicadores productivos del camarón (ganancia de peso, tasa de crecimiento específica, supervivencia, rendimiento). Los resultados mostraron que la materia orgánica del suelo aumentó en los tratamientos bacterianos (Control: 6,65; T2: 7,46), mientras la relación N:P en suelo fue menor en T2 (256.43) comparada con el control (266.82). La aplicación de cócteles bacterianos alteró la relación N:P en el agua, lo que influyó en la abundancia de fitoplancton; el cóctel 2 redujo N:P y favoreció cianobacterias, mientras que el control (con N:P alto) promovió diatomeas, destacando una competencia entre ambos grupos. Para los indicadores productivos, los tratamientos bacterianos mejoraron significativamente la supervivencia en el T2 con 85,71% y la biomasa en comparación con el control: 12244.00 y T2: 16356.00. Se concluye que el T2 representan una alternativa prometedora para mitigar la contaminación por nutrientes y mejorar la sostenibilidad acuícola, optimizando tanto el ecosistema como el rendimiento productivo.

Palabras clave: *Cócteles bacterianos, Penaeus vannamei, Manejo de nutrientes, Indicadores productivos.*

ABSTRACT

This study addressed the problem of nutrient accumulation and its collateral impacts on shrimp farms. The main objective was to evaluate the efficacy of two bacterial cocktails in improving soil and water N:P ratios, soil organic matter, and performance indicators of *Penaeus vannamei*. The study was conducted in 12 experimental ponds, operating in a semi-intensive system, stocked with *P. vannamei*. The treatments consisted of two bacterial cocktails (T1 and T2) and a control group, with three replicates per treatment. Soil organic matter and N:P ratios, including their correlation with phytoplankton, were evaluated, as well as performance indicators of shrimp (weight gain, specific growth rate, survival, and yield). The results showed that soil organic matter increased in the bacterial treatments (Control: 6.65; T2: 7.46), while the soil N:P ratio was lower in T2 (256.43) compared to the control (266.82). The application of bacterial cocktails altered the N:P ratio in the water, which influenced the abundance of phytoplankton; cocktail 2 reduced N:P and favored cyanobacteria, while the control (with high N:P) promoted diatoms, highlighting a competition between both groups. For productive indicators, bacterial treatments significantly improved survival in T2 with 85.71% and biomass compared to the control: 12244.00 and T2: 16356.00. It is concluded that T2 represents a promising alternative to mitigate nutrient pollution and improve aquaculture sustainability, optimizing both the ecosystem and productive performance.

Keywords: *Bacterial cocktails, Penaeus vannamei, Nutrient management, Yield indicators.*

1. INTRODUCCIÓN

Una de las industrias más productivas y con mayor ritmo de crecimiento a escala global es la acuicultura, que incluye el cultivo de camarón, especialmente *Penaeus vannamei*, una de las especies más significativas por su alta demanda y valor comercial (Deng et al., 2019). De acuerdo con la (FAO, 2024), menciona que la producción pesquera y acuícola mundial alcanzó un récord en 2022, superando los 223 millones de toneladas, lo que supone un incremento del 4,4% respecto a las cifras de los dos años anteriores, de esta manera, la producción total de 185,4 millones de toneladas corresponde a la disminución de animales acuáticos.

Por el contrario, el rápido crecimiento de esta actividad ha causado preocupaciones ambientales, en particular la acumulación de nutrientes como el fósforo en las masas de agua, lo que puede dar lugar a problemas como la eutrofización, el deterioro de la calidad del agua y los impactos en los ecosistemas acuáticos (Yan & Zhong, 2022), de esta manera la adopción de un enfoque integrado es una estrategia eficaz para equilibrar el ciclo del fósforo y reducir las aguas residuales en la acuicultura (Lukwambe et al., 2019).

Para ello, es fundamental maximizar la compatibilidad entre los sustratos y los microorganismos, lo que permite un uso eficiente de los cócteles bacterianos en la biorremediación de aguas residuales (Strand et al., 2019). De esta manera, el uso de cócteles bacterianos realizados con microorganismos especializados en la eliminación de contaminantes complejos, entre ellos destacan las bacterias fotosintéticas, un grupo de procariontes capaces de realizar la fotosíntesis y que juegan un papel crucial en la biorremediación. Esto puede resultar mediante la combinación de varias cepas con funciones complementarias, estas bacterias pueden adaptarse a diversos medios acuáticos, como lagos, arrozales, humedales, ríos, tierras activas y océanos, aumentando su eficacia en la descomposición de compuestos orgánicos e inorgánicos (Ramzan et al., 2025).

Las bacterias fotosintéticas se dividen en oxigénicas, como los proclorofitos y cianobacterias, que usan agua como donador de electrones y generan oxígeno (O₂), y anoxigénicas, como *Rhodobacter* y *Rhodospseudomonas*, que no producen O₂, pero asimilan dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno y diversas sustancias orgánicas o inorgánicas, lo que les confiere un alto potencial para la biorremediación debido a su rápido crecimiento y capacidad metabólica (Lami et al., 2021).

Además, algunas especies poseen ubiquinona, carotenoides y vitamina B12, claves en la desnitrificación, un proceso microbiológico que devuelve el nitrógeno fijado a la atmósfera al utilizar moléculas de nitrógeno disuelto como aceptores de electrones, lo que permite a estos microorganismos contribuir a la eliminación de compuestos nitrogenados en aguas residuales y regular el ciclo del nitrógeno y fósforo, donde los genes de desnitrificación permiten comprender la evolución de las funciones microbianas en la transformación de estos elementos (Maire et al., 2023).

PROBLEMÁTICA

Según (Mullungal et al., 2024) la acumulación de fósforo en los sistemas acuícolas constituye un problema productivo y ambiental que amenaza la sostenibilidad del cultivo de *Penaeus vannamei*; siendo este elemento, que proviene principalmente de dietas equilibradas y excreciones de camarones, provoca eutrofización en los cuerpos de agua al favorecer el crecimiento de fitoplancton y cianobacterias, lo que deterioran la calidad del agua y causa importantes pérdidas económicas.

En China y Vietnam, importantes productores acuícolas, estudios han evidenciado que la acumulación de fósforo en estanques puede reducir el crecimiento del camarón y aumentar la mortalidad debido a la proliferación de bacterias patógenas; ante esta problemática, los cócteles bacterianos han emergido como una estrategia de biorremediación, utilizando consorcios de microorganismos con capacidad para degradar

compuestos orgánicos y asimilar fósforo, lo que mejora la calidad del agua y reduce los impactos negativos en la producción (Nguyen et al., 2021; Li et al., 2018;).

Ecuador lidera la producción mundial de camarón, con exportaciones que excedieron los 6.289 millones de dólares en 2023, no obstante, la inadecuada gestión de nutrientes ha generado efectos perjudiciales en áreas de cultivo como el Golfo de Guayaquil, donde se ha observado proliferaciones de algas nocivas y episodios de hipoxia que impactan la producción y eleva los costos operativos (Infobae, 2024); por lo tanto, la efectividad de los tratamientos varía según la composición microbiana, las condiciones del cultivo y la concentración de nutrientes, de ahí la urgencia de evaluar su eficiencia tanto en condiciones controladas como reales para establecer estrategias óptimas de manejo en granjas camaroneras.

JUSTIFICACIÓN

La aplicación de cocteles bacterianos en los sistemas de cultivo de *Penaeus vannamei* se avala como una táctica innovadora y sustentable para enfrentar los retos vinculados a la calidad del agua, especialmente en términos de control del exceso de fósforo, disminución de sólidos suspendidos y prevención de brotes fitoplanctónicos. Como se indicó previamente, estos problemas son esenciales en la acuicultura, dado que impactan directamente en la homeostasis del agua, la presencia de oxígeno disuelto y, finalmente, en la salud y supervivencia de los camarones.

En este contexto, los cocteles poseen la habilidad de descomponer sustancias orgánicas y convertir el fósforo en formas menos accesibles, disminuyendo de esta manera su efecto en el sistema. De la misma forma, al evitar problemas como la eutrofización y los fitoplanctónicos, se disminuyen los gastos relacionados con el tratamiento de enfermedades, la reposición y la disminución de productividad. Asimismo, considerando que las condiciones de cultivo difieren dependiendo de la localización geográfica y las

particularidades de cada granja, los cocteles bacterianos pueden ser elaborados específicamente para ajustarse a las demandas de cada sistema. Esto los transforma en un instrumento adaptable y eficaz para optimizar la administración del agua en diversos entornos de producción.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de tratamientos de cocteles bacterianos en la disminución del fósforo y sus impactos en la calidad del agua, suelo y en los indicadores productivos en granjas de cultivo de *Penaeus vannamei*.

Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de materia orgánica y la relación nitrógeno fosforo al final de cultivo.
- Calcular la relación nitrógeno fosforo de la columna de agua correlacionando con la composición y abundancia del fitoplancton durante el cultivo.
- Evaluar los efectos secundarios de la aplicación de cocteles bacterianos sobre los indicadores productivos; sobrevivencia, crecimiento semanal, biomasa cosechada y factor de conversión alimenticia.

HIPÓTESIS

- **Hipótesis Nula (H₀):** Los cócteles bacterianos no tienen un efecto significativo en la reducción del fósforo ni en la calidad del agua en granjas de cultivo de *Penaeus vannamei*.
- **Hipótesis Alternativa (H₁):** Los cócteles bacterianos reducen significativamente la concentración de fósforo y mejoran la calidad del agua en granjas de cultivo de *Penaeus vannamei*.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El estudio realizado por (Castro et al., 2020) en Nicaragua, evaluaron las variaciones de amonio, nitrato y fosfatos en un sistema acuapónico conteniendo lechuga (*Lactuca sativa* L.) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el acuario experimental de la UNAN-León, los investigadores aplicaron un probiótico con bacterias nitrificantes y fosfato-solubilizantes a 100 tilapias en un acuario de 6 m³, luego de 15 días de maduración del agua, se integraron 189 plantas en un sistema de recirculación de nutrientes (NFT), se bombeó el agua al sistema, manteniéndola por 90 minutos y recolectando muestras en periodos de 0, 30, 60 y 90 minutos; como resultado se evidenció una disminución significativa de los niveles de nutrientes en los primeros 30 min, que se prolongó hasta los 90 min, con una correlación positiva superior a 0.9 y un $p \leq 0.05$.

El estudio de (Huang et al., 2021) analizó la comunidad bacteriana en un sistema biofloc con reutilización de agua (RS) y su impacto en la reducción de compuestos nitrogenados y fosfatados en el cultivo de *Penaeus vannamei*; se identificaron bacterias dominantes como Bacteroidetes (10.64-15.55%), Firmicutes (4.11-9.42%), Planctomycetes (14.43-29.67%) y Proteobacteria (38.73-50.35%), con bajas proporciones de bacterias desnitrificantes ($0.65 \pm 0.07\%$) y nitrificantes heterotróficas ($5.73 \pm 0.23\%$) en RS, significativamente menores que en el sistema con agua nueva (NS); como resultado, los niveles de nitrógeno total (285.5 ± 10.2 mg/L) y nitratos (24.8 ± 2.7 mg/L) fueron más altos en RS en comparación con NS (231.3 ± 6.1 y 4.6 ± 0.4 mg/L, $P < 0.05$), indicando una menor eficiencia en la eliminación de estos compuestos; la menor diversidad microbiana en RS, reflejada en un índice de Shannon inferior ($P < 0.05$), sugiere la necesidad de optimizar la comunidad bacteriana para mejorar la remoción de nitrógeno y fósforo en sistemas de reutilización de agua

El estudio reciente de (Ramzan et al., 2025), examinaron el papel vital de las bacterias fotosintéticas (PSB) en los sistemas integrados de biorremediación de aguas residuales de acuicultura (IAWBSs), examinando particularmente su impacto sobre las genes funcionales vinculados al ciclo del nitrógeno y el fósforo en comunidades microbianas.; los investigadores encontraron que la incorporación de PSB incrementó significativamente la eficiencia del tratamiento, con tasas de remoción superiores al 90% para ambos nutrientes, a la vez que se observó un aumento en la diversidad microbiana y la abundancia de genes clave en procesos de desnitrificación, amonificación, nitrificación y metabolismo del fósforo; estos hallazgos sugieren que las PSB no solo optimizan la calidad del efluente, sino que también fortalecen la capacidad de los sistemas para el reciclaje de nutrientes.

La investigación de Ferreira et al. (2017), investigaron la biorremediación y el control biológico de un probiótico comercial mediante el análisis de la calidad del agua y los principales grupos bacterianos que influyen en la cultura de *Penaeus vannamei* utilizando biofloc. Los tratamientos consistieron en cuatro concentraciones diferentes de probióticos (*Bacillus subtilis* y *B. licheniformis*): 0.5 g m⁻³ (P0.5), 1 g m⁻³ (P1.0), 2 g m⁻³ (P2.0), 3 g m⁻³ (P3.0), y un control sin probiótico (CTL). Todas las variables se mostraron equilibradas y dentro de los límites recomendados para la acuicultura de camarones. Bajo las condiciones de cultivo adoptadas en este estudio, el probiótico comercial no tuvo un efecto significativo ($P \geq 0.05$) sobre la calidad del agua, las bacterias, el fitoplancton o el rendimiento de los camarones.

2.2. *Penaeus vannamei*

2.2.1. *Generalidades de Penaeus vannamei*

Originario de la costa del Pacífico, esta especie es un crustáceo de tamaño medio muy apreciado en el mercado, su dieta consiste tanto en alimentos artificiales proporcionados por los productores como en una variedad de organismos naturales que se encuentran en el medio marino, como algas, pequeños invertebrados y materia orgánica en descomposición (Moreira & Méndez, 2024).

Para que la producción tenga éxito, es esencial la calidad del agua de las piscinas de cultivo, por ejemplo se deben evaluar parámetros como el pH, la temperatura y la salinidad deben controlarse cuidadosamente, ya que las variaciones pueden favorecer el crecimiento de microorganismos patógenos, provocando enfermedades, muertes y una disminución de la calidad del producto final (Clayton et al., 2024).

Figura 1.

Penaeus vannamei



Nota: La imagen muestra un ejemplar de Penaeus vannamei. Fuente: ICTIOTERM, 2025.

2.2.2. Clasificación Taxonómica

Tabla 1.

Clasificación Taxonómica Penaeus vannamei

Categoría Taxonómica	Clasificación
Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Subfilo	Crustacea
Clase	Malacostraca
Subclase	Eumalacostraca
Superorden	Eucarida
Orden	Decapoda
Suborden	Dendobranchiata
Superfamilia	Penaeoidea
Familia	Penaeidae
Género	<i>Penaeus</i>
Especie	<i>Penaeus vannamei</i>

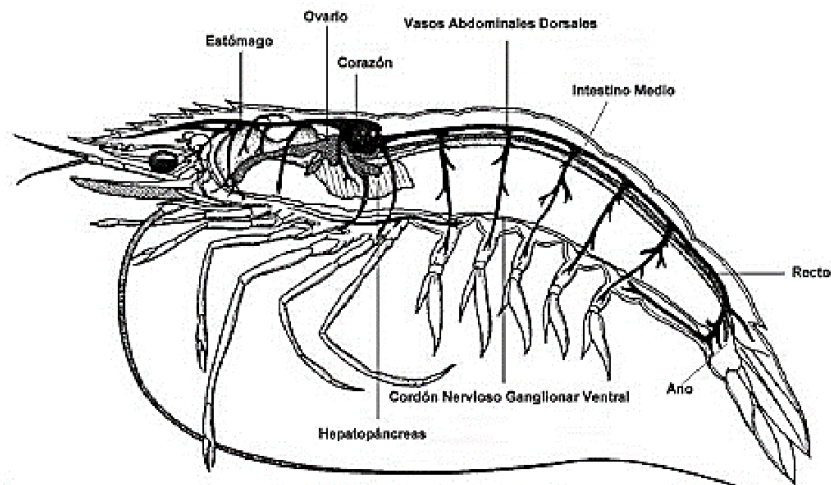
Fuente: (Boone, 1931)

2.2.3. Anatomía interna del camarón

El sistema circulatorio de los camarones presenta una estructura abierta, caracterizada por un corazón dorsal ubicado en la región cefalotorácica que impulsa la hemolinfa a través de un sistema de vasos y senos. En estos espacios, se lleva a cabo el intercambio gaseoso y procesos de filtración. Adicionalmente, el cefalotórax alberga el hepatopáncreas, órgano clave en la digestión y absorción de nutrientes. Por otro lado, la producción de células sanguíneas está a cargo del tejido hematopoyético, mientras que la eliminación de desechos metabólicos ocurre a través del intestino posterior, el cual desemboca en el ano (Reyes, 2021).

Figura 2.

Anatomía interna de Penaeus vannamei



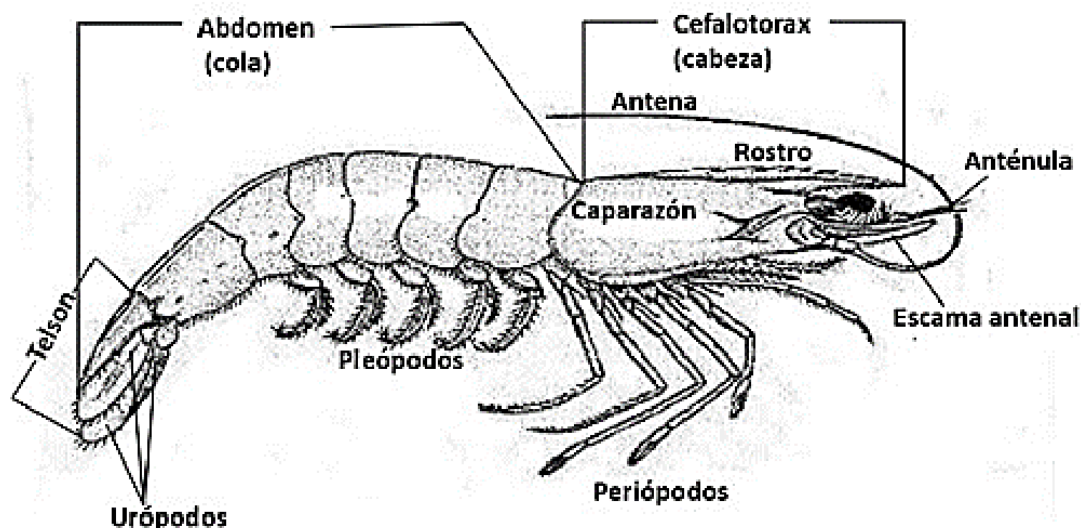
Nota: La imagen ilustra la anatomía interna de un camarón Penaeus vannamei, mostrando órganos como el corazón, estómago, intestino y hepatopáncreas. Fuente: Reyes, 2021.

2.2.4. Anatomía externa del camarón

El camarón se estructura en tres segmentos principales: el cefalotórax, centro de alta actividad metabólica que alberga apéndices como anténulas, antenas, maxilas, pereiópodos, maxilípedos y mandíbulas; el abdomen, compuesto por seis segmentos equipados con pleópodos para la natación; y el telson, que incluye los urópodos, también involucrados en la locomoción acuática (Reyes, 2021).

Figura 3.

Anatomía externa de Penaeus vannamei



Nota: La imagen detalla la anatomía externa de un camarón, destacando estructuras como el cefalotórax, abdomen, antenas, rostro, caparazón, periópodos, pleópodos, telson y urópodos. Fuente: Reyes, 2021.

2.3. Producción de camarón *Penaeus vannamei* en Ecuador

El *Penaeus vannamei*, conocido comúnmente como camarón blanco, es un crustáceo que habita de forma natural en la costa del Pacífico, desde México hasta el norte de Perú. Este camarón se encuentra en ambientes marinos y estuarinos, con niveles de salinidad que oscilan entre 30 y menos de 5‰ (Velásquez et al., 2023). Alrededor de la década de 1970, productores de Panamá identificaron a Ecuador como un lugar ideal para la producción de camarón durante todo el año, gracias a las temperaturas favorables del agua y la abundancia de zonas costeras con mareas y alta riqueza de nutrientes, esenciales para el crecimiento de las larvas de camarón (Dudink, 2022).

Las primeras granjas se establecieron en el suroeste de Ecuador, en la provincia de El Oro, y se expandieron hacia el norte, a las provincias de Guayas y Manabí, llegando a

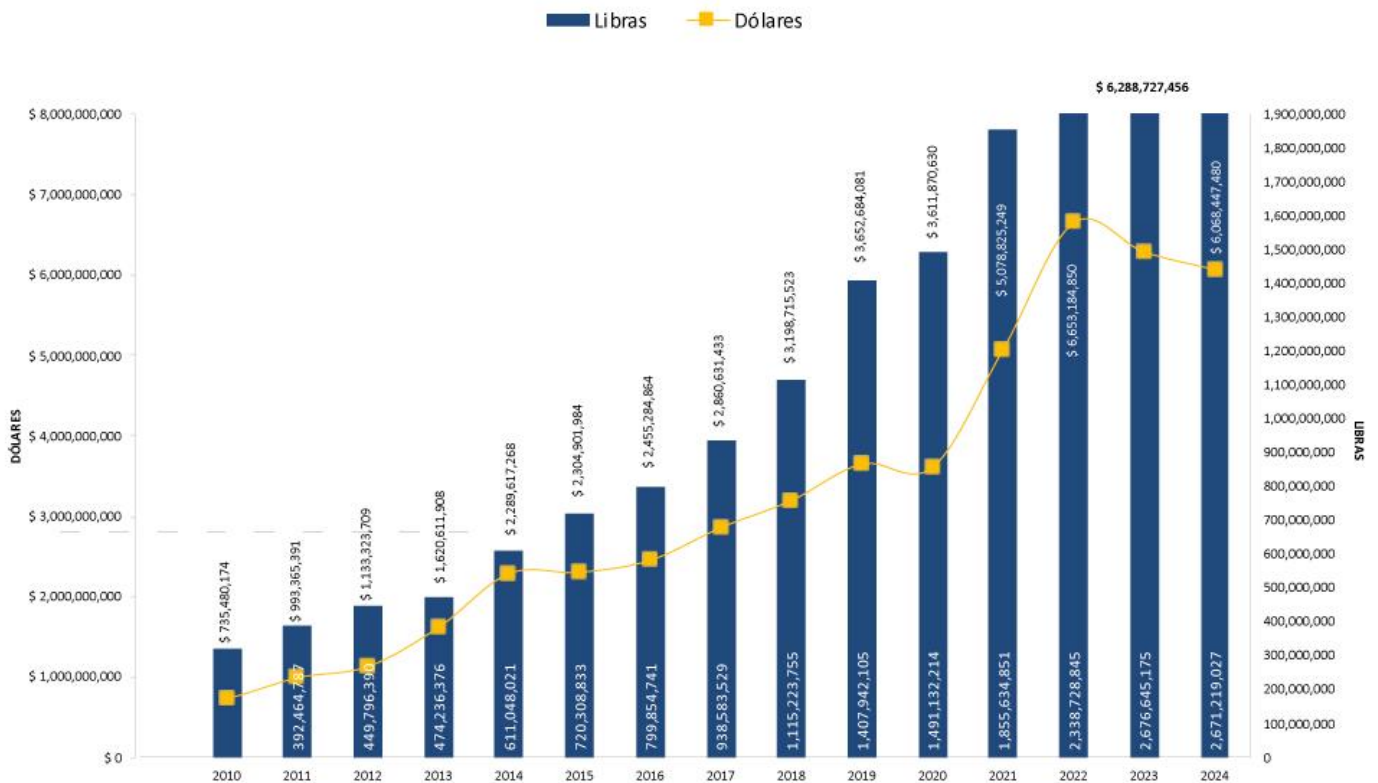
Esmeraldas a mediados de la década de 1980, donde se encuentran los manglares. Debido a la creciente rentabilidad de la industria camaronera, el gobierno ecuatoriano comenzó a otorgar concesiones, permitiendo a los productores usar ciertas áreas costeras por períodos de 10 años (Jiménez et al., 2021).

En el año 2020, de acuerdo con la (FAO, 2022), el camarón blanco alcanzó una producción global de 5,8 millones de toneladas, Ecuador se destaca como el principal productor de camarón blanco en el hemisferio occidental, concentrándose exclusivamente en esta especie (Boyd et al., 2022). Según la Cámara Nacional de Acuicultura (CNA), la figura 4 muestra las fluctuaciones en las exportaciones internacionales de *Penaeus vannamei* desde 2010 hasta el 2024, evidenciando tanto la cantidad exportada en libras, se puede observar por las barras de color azul y como el valor total en dólares, señalado por la línea amarilla.

Según la CNA (2022), se nota un incremento constante en ambos indicadores, con un notable incremento entre 2018 y 2021, llegando a su máximo en 2022 con exportaciones de \$6,288,727,456. Sin embargo, a partir del año 2023, se nota que, pese a que el volumen de camarón exportado se mantiene relativamente estable, su valor en dólares sufre un leve descenso. Este comportamiento indica que podría existir una reducción en el precio por cada libra de camarón, o que elementos externos estén influyendo en el mercado global.

Figura 4.

Tendencia de exportaciones de Penaeus vannamei en libras y dólares (2010-2024)



Nota: El gráfico muestra la evolución de las exportaciones de Penaeus vannamei en libras y dólares desde 2010 hasta 2024, indicando un crecimiento constante en ambos valores.

Fuente: CNA, 2022

2.4. Importancia del control del fósforo en la acuicultura

El investigador Sandoval (2024), describe el vertimiento de efluentes con elevados niveles de nutrientes, como fósforo y nitrógeno, pueden causar la eutrofización en las aguas receptoras, que pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos, promover las floraciones algales, alterar el hábitat y la disminución de ciertas especies, en los ecosistemas de lagunas costeras tropicales y en sistemas de acuicultura, los nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo se presentan principalmente en forma de iones nitrato, amonio y fosfatos, cuya composición varía según el pH del agua.

Por otro lado, Barbosa et al. (2019), indica que las actividades humanas, como el uso excesivo de alimentos balanceados en estanques de cultivo, incrementan la concentración de estos compuestos, se pone en peligro el equilibrio del ecosistema, de esta manera, la acumulación interna de fósforo en los sedimentos y su liberación al agua contribuye a la eutrofización, deteriorando la calidad del agua y favoreciendo el crecimiento desmedido de cianobacterias, lo que puede afectar negativamente la salud y el crecimiento de *Penaeus vannamei*, reduciendo la productividad de las granjas camaroneras.

2.4.1. Contaminación por fósforo en acuicultura

Se estima que el 75% del alimento utilizado en acuicultura se libera en forma de nitrógeno y fósforo. El nitrógeno se introduce en el agua como amonio (NH_4^+), nitrógeno orgánico, y en ocasiones como nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-), mientras que el fósforo se presenta principalmente como fosfatos (PO_4^{3-}) (Silva et al., 2021).

Dauda et al. (2019), mencionan que los desechos generados por el cultivo de peces en Japón, independientemente de la especie, son tan elevados que una tonelada de peces produce, en promedio, 0,8 kg de nitrógeno y 0,1 kg de fósforo. De esta manera, el cultivo de peces no puede considerarse sostenible, sino más bien un proceso que contribuye al deterioro de los ecosistemas dulceacuícolas.

2.5. Biorremediación Microbiana en Acuicultura

Según (Kashem et al., 2023), la acuicultura moderna, a pesar de ser una fuente vital de proteínas, se enfrenta a desafíos importantes relacionados con la acumulación de residuos orgánicos y nutrientes en sus sistemas de cultivo, lo que puede conducir a la eutrofización, una disminución en la calidad del agua y un aumento de la susceptibilidad de los organismos cultivados a las enfermedades; de este modo, la biorremediación microbiana emerge como una estrategia ambientalmente respetuosa y sostenible para mitigar estos efectos negativos

utilizando la capacidad de los microorganismos para metabolizar o eliminar contaminantes del medio acuático

2.5.1. Conceptos Fundamentales de la Biorremediación Microbiana

Según Oliveira et al. (2023), la biorremediación se define como cualquier proceso que utiliza organismos vivos, principalmente microorganismos, para eliminar, neutralizar o transformar contaminantes del medio ambiente en formas menos tóxicas o inofensivas; a nivel microbiana, este proceso se fundamenta en la vasta diversidad metabólica de bacterias, hongos y microalgas, las cuales poseen enzimas y vías bioquímicas capaces de degradar o asimilar una amplia gama de compuestos; algunos tipos de biorremediación incluyen:

- **Bioaumentación**

La bioaumentación es una técnica que consiste en incorporar microorganismos externos con capacidades metabólicas específicas en los sistemas de digestión anaerobia (DA.).Esta estrategia ha demostrado ser eficaz para diversos fines, como acelerar la descomposición de proteínas y celulosa, neutralizar la inhibición causada por el propionato, incrementar la resistencia del sistema, perfeccionar la composición de las comunidades microbianas y, en última instancia, elevar la producción de metano (Dar et al., 2025).

- **Bioestimulación**

La bioestimulación es una técnica que busca aumentar la eficacia de los microorganismos ya presentes en ambientes contaminados, ya sean suelos o cuerpos de agua, para que descompongan los contaminantes de manera más eficiente. Esto se logra ajustando las condiciones del entorno, por ejemplo, añadiendo nutrientes que escasean o modificando parámetros físico-químicos como el pH o la temperatura. De esta forma, se estimula el crecimiento y la capacidad metabólica de las poblaciones microbianas existentes, permitiéndoles desintoxicar el medio ambiente de forma más efectiva.(Yuan et al., 2024).

2.6. Agentes biorremediadores

Los principales biorremediadores son las bacterias, los hongos y las microalgas, cada uno de los cuales desempeña funciones especializadas y complementarias en la limpieza del suelo, el agua y el aire.

Bacterias

Las bacterias son, sin duda, los actores más prominentes en la biorremediación debido a su ubicuidad, rápida tasa de crecimiento, alta adaptabilidad y, crucialmente, su asombrosa diversidad metabólica, igualmente, pueden operar en una amplia gama de condiciones ambientales (aerobias, anaerobias, ácidas, alcalinas, frías, calientes) y son capaces de degradar una inmensa variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos (Wani et al., 2022). Su arsenal enzimático les permite llevar a cabo procesos tal como se describe en la tabla 2.

Tabla 2.

Rol de Bacterias en Sistemas Acuático

Función	Descripción	Referencia
Microbiana		
Remoción de Contaminantes Orgánicos (1)	Las bacterias mineralizan la materia orgánica, liberando nutrientes como fósforo y nitrógeno. También participan en la solubilización del fósforo inorgánico y en procesos de nitrificación y desnitrificación.	(García et al., 2020).

Competencia Microbiana y Control Biológico	Las bacterias compiten con (Ndlela et al., 2018). y microorganismos indeseables por nutrientes y espacio, ayudando a controlar floraciones algales y mejorando la salud del ecosistema.
Remoción de Contaminantes Orgánicos (2)	Las bacterias degradan compuestos orgánicos provenientes del metabolismo de organismos cultivados y de alimento no consumido, reduciendo la carga orgánica del sistema. (Espinosa et al., 2022).

Fuente: Cortés, 2025.

2.6.1. Cepas Bacterianas de Interés en Acuicultura

La especificidad metabólica de ciertas bacterias, la hacen esencial para los procesos de biorremediación, sobre todo son importante en la gestión de nutrientes, por ejemplo, en:

- **Bacterias Solubilizadoras de Fosfato**

Estas bacterias, por ejemplo, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Enterobacter* son capaces de liberar fosfato inorgánico inmovilizado en el sedimento o en complejos insolubles, haciéndolo disponible para la asimilación por otros organismos o para su posterior remoción. Lo logran secretando ácidos orgánicos (como ácido cítrico, láctico, glucónico) que quedan cationes unidos al fosfato, y/o liberando enzimas fosfatasas que hidrolizan el fosfato orgánico (Ramos et al., 2024).

Son cruciales en granjas acuícolas para movilizar el fósforo atrapado en los sedimentos, reduciendo su acumulación y permitiendo que se incorpore al ciclo del agua donde puede ser asimilado por el fitoplancton o removido del sistema.

- **Bacterias Nitrificantes**

Son un grupo de quimioautótrofos esenciales en el ciclo del nitrógeno que convierten el amonio (NH_4^+), un subproducto tóxico del metabolismo del camarón y la descomposición de la materia orgánica, en nitrato (NO_3^-) en dos etapas: 1) Nitrificación (ej., Nitrosomonas) oxida NH_4^+ a nitrito (NO_2^-), y 2) Nitratación (ej., Nitrobacter) oxida NO_2^- a NO_3^- (Ipsita et al., 2020).

- **Bacterias Desnitrificantes**

Bajo condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno, pero presencia de nitrato), estas bacterias de las cuales destacan, *Pseudomonas*, *Paracoccus denitrificans*, *Bacillus* usan el nitrato (NO_3^-) como aceptor final de electrones, reduciéndolo secuencialmente a nitrógeno molecular (N_2) (Pang & Wang, 2021).

- **Comunidades fitoplanctónicas**

Tabla 3.

Grupos Fitoplanctónicos y su Potencial en Procesos de Biorremediación

Grupo	Ejemplos de	Características	Aplicaciones
Fitoplanctónico	Géneros	Principales	
Diatomeas	<i>Nitzchia</i> <i>Chaetoceros</i> <i>Navicula</i> <i>Skeletonema</i> <i>Thalassiosira</i> sp.	sp., Microalgas eucariotas con alta productividad y tasa de crecimiento.	Remediación de nitrógeno y fósforo; bioadsorción y bioacumulación de metales pesados.
Cianobacterias	<i>Oscillatoria</i> <i>Anabaena</i>	sp., Bacterias fotosintéticas,	Fijación de nitrógeno, degradación de

	<i>Spirulina</i>	<i>sp.</i> ,	algunas	con	contaminantes
	<i>Crococcus sp.</i>		floraciones nocivas.	orgánicos,	uso
				biotecnológico	
				(<i>Spirulina</i>).	
Dinoflagelados	<i>Ceratium</i>	<i>sp.</i> ,	Microalgas	Asimilación	de
	<i>Gymnodinium</i>	<i>sp.</i> ,	unicelulares,	nutrientes;	pueden
	<i>Procentrum</i>	<i>sp.</i> ,	algunas tóxicas.	formar mareas rojas.	
	<i>Exuviella</i>	<i>sp.</i> ,			
	<i>Protooperidinium sp.</i>				
Chlorophytas (algas verdes)	No se especifican		Diversidad morfológica, eficiencia fotosintética.	Remoción alta nutrientes; producción de oxígeno útil en biorremediación aerobia.	de
Euglenophytas	<i>Euglena spp.</i>		Unicelulares, móviles, fotosintéticos heterótrofos facultativos.	Participan en la asimilación de nutrientes; potencial en tratamiento de aguas.	la
Rafidofitas	<i>Chatonella</i>	<i>sp.</i> ,	Algunas especies	Contribuyen a los	
	<i>Heterosigma</i>	<i>sp.</i> ,	causan floraciones	ciclos de nutrientes;	
	<i>Fibrocapsa sp.</i>		nocivas.	indicadores ecológicos.	

Cryptophytas	<i>Cryptomonas sp.</i> , <i>Rhodomonas sp.</i>	Microalgas pequeñas, pigmentación diversa.	Diversificación del fitoplancton; asimilación de nutrientes.
--------------	---	---	---

Fuente: Di Costanzo et al., 2023

2.7. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura

La acuicultura contemporánea, de acuerdo a (Mustafa et al., 2021) es motivada por la demanda mundial en aumento de productos marinos, se topa con retos importantes vinculados a la sostenibilidad, la productividad y la gestión ambiental. Dentro de este marco, la biotecnología se ha consolidado como una disciplina esencial, proporcionando instrumentos innovadores para tratar estos problemas y perfeccionar los sistemas de cultivo. Además, el uso de técnicas y principios biológicos en el sector acuícola tiene como objetivo no solo incrementar la eficiencia en la producción, sino también reducir el impacto en el medio ambiente y asegurar la viabilidad a largo plazo de la industria.

2.7.1. Alcance de la Biotecnología Acuícola

El investigador, Seethalakshmi et al. (2021), destaca la relevancia crítica de la biotecnología en la gestión de enfermedades infecciosas en el cultivo de camarones, un problema que ha llevado a la búsqueda de alternativas a la terapia con antibióticos.

En este sentido, en la tabla 4, se describen soluciones de la biotecnología.

Tabla 4.*Estrategias biotecnológicas relacionadas en la acuicultura*

Estrategia	Aplicación	Beneficios
Vacunas basadas en biopelículas	Immunización de organismos acuáticos frente a patógenos bacterianos.	Estimulan una respuesta inmune más eficaz y prolongada en comparación con las vacunas tradicionales.
Extractos algales y fitobióticos	Suplementación en la dieta de organismos acuáticos.	Poseen propiedades antimicrobianas, mejoran la inmunidad, promueven el crecimiento y reducen el estrés oxidativo.
Probióticos, prebióticos y simbióticos	Administración por vía oral y o mediante el agua en sistemas de cultivo.	Mejoran la salud intestinal, estimulan el sistema inmune, inhiben patógenos (como <i>Vibrio</i> sp.) y reducen compuestos nitrogenados tóxicos.
Fagoterapia (uso de bacteriófagos)	Aplicación dirigida para el tratamiento o prevención de infecciones bacterianas.	Alta especificidad, menor riesgo de resistencia bacteriana y menores efectos secundarios comparado con los antibióticos convencionales.

Fuente: Seethalakshmi et al. (2021)

2.7.2. Aplicación de Productos Biotecnológicos para el Ambiente Acuícola

- **Probióticos**

Los probióticos de acuerdo con Lee et al. (2021), son clave para mejorar la digestión y asimilación de nutrientes en los camarones, de esta manera, resulta en una mejor conversión alimenticia y mayores tasas de crecimiento, lo cual es fundamental para reducir la cantidad de alimento no consumido y la excreción de heces, principales fuentes de fósforo en los estanques. Así mismo, una absorción de nutrientes más eficiente implica una menor cantidad de fósforo liberado al ambiente.

Además, son cruciales para mantener un equilibrio microbiano saludable en el estanque. Suprimen la presencia de patógenos y controlan el crecimiento de microorganismos indeseables. También son capaces de reducir compuestos nitrogenados tóxicos como el amonio y el nitrito, y de degradar la materia orgánica presente en el estanque (Goh et al., 2023).

Esta degradación de materia orgánica es directamente relevante para la reducción del fósforo, ya que una parte significativa del fósforo en los estanques está ligada a la materia orgánica en el sedimento o en suspensión. Al mineralizar esta materia orgánica, los probióticos pueden influir en la dinámica del fósforo, bien sea facilitando su precipitación controlada o su asimilación biológica por otros componentes microbianos, o incluso permitiendo su remoción. Especies comunes de probióticos utilizados en acuicultura incluyen *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Pseudomonas sp.* y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, muchos de los cuales tienen también capacidades solubilizadoras o asimiladoras de fósforo (Seethalakshmi et al., 2021).

- **Biofiltros**

El estudio de Chen et al. (2021), menciona dos enfoques tecnológicos han cobrado gran relevancia en el manejo de la calidad del agua en sistemas acuícolas: los sistemas de

biofloc (BFT) y los sistemas basados en biofiltros, generalmente integrados en los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS); las dos tecnologías dependen de la actividad microbiana para controlar los nutrientes y optimizar el entorno de cultivo; sin embargo, sus principios operativos y beneficios distintivos las diferencian.

Sistemas de Biofloc (BFT):

Se distinguen por fomentar activamente el desarrollo de agregados microbianos, conocidos como “flóculos”, dentro de la columna de agua; estos flóculos están compuestos por una diversidad de microorganismos, tanto heterotróficos como autotróficos, incluyendo bacterias, microalgas y protozoos, junto con materia orgánica particulada (Wei et al., 2020). Generando, doble función principal, por un lado, actúan como biofiltros naturales en suspensión, depurando el agua, y, adicionalmente, representan una valiosa fuente de alimento suplementario para las especies acuícolas cultivadas (Raza et al., 2024).

En la Tabla 5 se presentan los principales procesos involucrados en el manejo de nutrientes y el control de la calidad del agua en sistemas BFT, destacando su aplicación y efectos sobre el ambiente de cultivo.

Tabla 5.

Manejo de Nutrientes y Calidad del Agua en Sistemas BFT

Proceso	Descripción	Beneficio/Riesgo
Manejo del Nitrógeno	Asimilación bacteriana de nitrógeno (amonio, nitrito, nitrato) facilitada por la adición de carbono.	Reducción eficiente de compuestos tóxicos mediante crecimiento de bacterias heterótrofas.

Gestión del Fósforo	Absorción de fósforo disuelto por la biomasa microbiana del biofloc.	Remoción del fósforo por consumo del biofloc o extracción del exceso del sistema.
Calidad del Agua	Control de nutrientes, pero posible acumulación de sólidos suspendidos totales (SST).	Mejora de calidad del agua; riesgo de afectación branquial si los SST no se regulan adecuadamente.

Fuente: Chen et al., 2021

Sistemas Basados en Biofiltros (RAS):

Los sistemas con biofiltros, como se detalló en la sección 2.5.3, utilizan estructuras externas o internas con un medio de soporte para el crecimiento de biopelículas microbianas (principalmente nitrificantes y desnitrificantes) que procesan el agua de cultivo. El agua circula a través de estos biofiltros, donde los compuestos nitrogenados tóxicos son transformados (Chen et al., 2021).

Manejo de Nutrientes: Su función principal es la nitrificación y desnitrificación, convirtiendo el amonio y nitrito en nitrato y luego en nitrógeno gaseoso, respectivamente. Esto resulta en una alta eficiencia en la remoción de nitrógeno inorgánico y en una excelente claridad del agua.

Gestión del Fósforo: Aunque no es su función principal, al mantener una baja carga orgánica y un ambiente más estable, los biofiltros pueden influir indirectamente en la dinámica del fósforo, reduciendo la acumulación de lodos ricos en fósforo y facilitando otros mecanismos de remoción.

2.7.3. *Uso de Cócteles Bacterianos en Acuicultura*

La aplicación de cócteles bacterianos en la acuicultura se fundamenta en el uso de combinaciones de microorganismos beneficiosos con el fin de potenciar la salud y el desempeño de los seres acuáticos, también, estos cócteles, formados por diferentes tipos de bacterias, funcionan de diversas maneras, desde la optimización de la calidad del agua hasta el robustecimiento del sistema inmunológico de los animales cultivados (Sandhya et al., 2020); al introducir estas bacterias beneficiosas en los sistemas acuícolas, lo que se pretende es crear un ambiente más equilibrado y resistente a enfermedades, reduciendo así la dependencia de productos químicos y antibióticos (Abdel-Ghany et al., 2020).

Además, una de las ventajas más sobresalientes de los cócteles bacterianos es su capacidad para mejorar la calidad del agua, las bacterias presentes en estos cócteles degradan la materia orgánica, reduciendo los niveles de amoníaco y nitritos, de esta manera, disminuye el estrés en los organismos acuáticos. Además, estas bacterias tienen la capacidad de competir con patógenos, evitando enfermedades y disminuyendo la necesidad de terapias con antibióticos. De igual importancia, los cócteles bacterianos, al potenciar la digestión y la absorción de nutrientes, también pueden fomentar un crecimiento más acelerado y saludable en los animales cultivados (Kaushal et al., 2018).

2.7.3.1. *Bacterias usadas en acuicultura*

Tabla 6.

Potencial de bacterias en la calidad del agua

Bacterias Potenciales	Acción sobre la Calidad del Agua y Observaciones	Dosis
<i>Bacillus sp., Saccharomyces sp.</i>	Reducción de concentraciones de nitrógeno total y amoníaco, la transparencia del agua fue más alta en la fase inicial del cultivo	10 ⁸ –10 ⁵ cfu/mL

<i>Bacillus sp.</i> , <i>S. cerevisiae</i> , <i>Nitrosomonas sp.</i>	Reducción de concentraciones de nitrógeno y fósforo, aumento en los rendimientos de camarones	10 ⁴ –10 ⁹ cfu/mL
<i>Streptomyces sp.</i>	Mejor calidad del agua en tanques con <i>Streptomyces</i>	2–10 g de materia seca/kg de alimento
<i>Bacillus sp.</i> Gram-positivo	Mantuvo transparencia óptima y baja carga orgánica	—
<i>Bacillus</i> mixto	Reducción significativa de los niveles de pH, amoníaco y nitrito	—
<i>B. subtilis</i> y <i>B. megaterium</i> con harina de soja	Tolerancia al estrés y mejores metabolitos en la hemolinfa	1.2 × 10 ⁴ cfu/g
BZT®BIO-AQUA	Mejora significativa en la calidad del agua y el rendimiento del crecimiento	—
<i>Bacillus sp.</i> y <i>Lactobacillus</i> , levaduras	Aumento en los valores porcentuales de concentración de Pyrrophyta, mejorando la calidad ambiental en estanques con sistemas de recirculación	5.749 × 10 ⁴ cfu/g
<i>Bacillus circulans</i> y <i>B. licheniformis</i>	Reducción de riesgos en la cultura de peces al mejorar el crecimiento y la salud de los peces cultivados	1 × 10 ⁶ cfu/mL
<i>Bacillus pumilus</i> , <i>B. licheniformis</i> , y <i>B. subtilis</i>	Reducción de TAN; mejor crecimiento y supervivencia de camarones sin intercambio de agua	—
Bacterias lácticas	Mejora de la tasa de supervivencia de la larva de rodaballo, <i>Scophthalmus maximus</i>	10 ⁷ y 2 × 10 ⁷ cfu/mL

Fuente: Kumar et al., 2016

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Enfoque

La investigación tiene un enfoque aplicado y experimental, con el objetivo general de evaluar la eficiencia de tratamientos de cócteles bacterianos en la disminución del fósforo y sus impactos en la calidad del agua, suelo e indicadores productivos en granjas de cultivo de *L. vannamei*.

3.2. Área de estudio

El estudio se realizó en una empresa situada en Guayaquil, Ecuador, una zona esencial para la acuicultura de camarón; este sitio ofreció condiciones ambientales controladas, lo que fue fundamental para evaluar de manera precisa los efectos de los tratamientos aplicados; la zona se distingue por un clima tropical, con temperaturas que oscilan entre los 25 y 30°C y una alta humedad relativa; de igual forma, las piscinas empleadas para el experimento compartían características homogéneas en tamaño, profundidad y calidad del agua, lo que garantizó la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.3. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental totalmente aleatorio, lo que significa que las piscinas se distribuyen de manera aleatoria entre los distintos tratamientos; esta metodología contribuye a reducir el sesgo y garantiza que cualquier variación detectada sea atribuible únicamente a los tratamientos implementados.

- **Factores de estudio**

Se consideran dos factores principales:

Tratamiento: Aplicación de cócteles bacterianos (T1 y T2).

Control: Piscinas sin adición de cócteles bacterianos.

- **Unidades Experimentales:**

Se utilizarán un total de 12 piscinas.

- 6 piscinas recibirán los tratamientos con cócteles bacterianos.
- 6 piscinas se destinarán a los grupos de control.

Tratamientos:

T1 (Cóctel 1):

- *Bacillus licheniformis*: 7×10^{11} UFC.
- *Bacillus pumilus*: 2×10^{11} UFC.
- *Bacillus subtilis*: 11×10^{11} UFC.

T2 (Cóctel 2):

- *Bacillus subtilis*: 5.0×10^9 UFC/g.
- *Bacillus licheniformis*: 5.0×10^9 UFC/g.
- *Bacillus* sp*.: 11.0×10^9 UFC/g.
- *Paracoccus pantotrophus*: 2.0×10^9 UFC/g.
- Bacterias ácido-lácticas**.: 2.0×10^9 UFC/g.

Nota: *(*Bacillus pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. megatherium*); **(*Lactobacillus acidophilus*, *Pediococcus acidilactici*)

Grupos de Control:

- **Control 1:** 3 piscinas sin adición de cócteles bacterianos.
- **Control 2:** 3 piscinas sin adición de cócteles bacterianos.

Cada piscina tendrá las mismas condiciones de manejo y densidad de siembra para minimizar el sesgo experimental. Los tratamientos serán evaluados en un periodo de tiempo definido para determinar su efecto en la calidad del agua, el suelo y la productividad del camarón.

3.4. Mantenimiento y preparación de piscinas

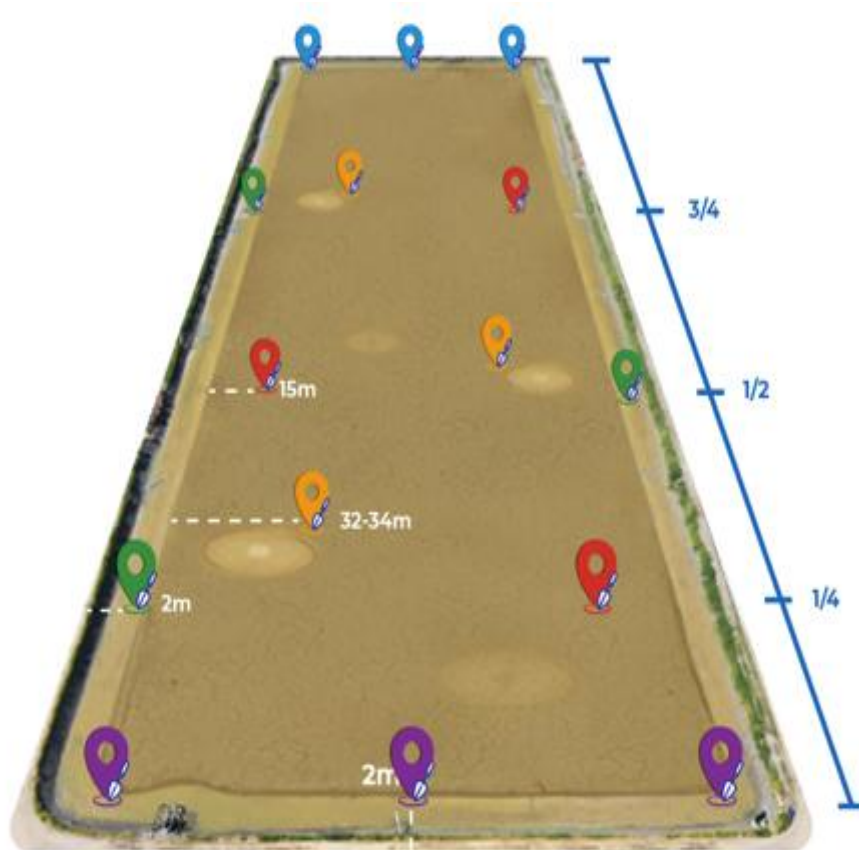
El procedimiento inicial incluye la toma de muestras del suelo para analizar su composición, y la revisión de las condiciones del agua en diversas zonas de la piscina. Se insertó la pala en un ángulo diagonal de 45° a una profundidad de 10 cm por debajo de la superficie del suelo para obtener cada muestra. Se realizó la extracción de las muestras, siguiendo ubicaciones predeterminadas. Posteriormente, todas las muestras recolectadas se mezclaron en un balde. Finalmente, se extrajo no más de una libra de la mezcla de suelo para su análisis.

En la figura 5, se incluyen cinco tipos de muestras, cada una representada por un color específico y ubicadas en distintas secciones del estanque. A la izquierda, hay una leyenda que describe cada tipo de muestra:

1. **Compuerta de Entrada (azul):** Muestras tomadas a 2 metros hacia adentro desde el filo del préstamo.
2. **Compuerta de Salida (morado):** Muestras tomadas a 2 metros hacia adentro desde el filo del préstamo.
3. **Mesa (rojo):** Muestras tomadas a 15 metros hacia adentro desde el filo de la mesa.
4. **Préstamo (verde):** Muestras tomadas a 2 metros hacia adentro desde el filo del préstamo.
5. **Alimentadores Automáticos (morado):** Muestras tomadas a 32-34 metros hacia adentro desde el filo de la mesa, en la zona del halo del alimentador.

Figura 5.

Zona de muestreo



Nota: El diagrama ilustra la distribución de los puntos de muestreo dentro de una zona de cultivo, indicando distancias y proporciones para el proceso. Fuente: Cortés, 2025

3.4.1. Eliminar de depredadores y competidores

El proceso se estructura en dos fases fundamentales para garantizar un ambiente óptimo en las piscinas destinadas al cultivo de camarón:

Fase 1: Preparación y Sellado Inicial

- Limpieza manual de las entradas y salidas de agua, concentrándose en la eliminación de moluscos.
- Sellado de las compuertas para prevenir filtraciones y el ingreso de la marea.

Fase 2: Tratamiento y Barrera Final

- Aplicación de una solución de barbasco en las pozas de la piscina.
- Sellado de la salida de la piscina con plástico para evitar la fuga de peces.
- Instalación de un sistema de mallas y bolsas en las compuertas para impedir el ingreso de organismos no deseados.

3.4.2. *Conteo de algas*

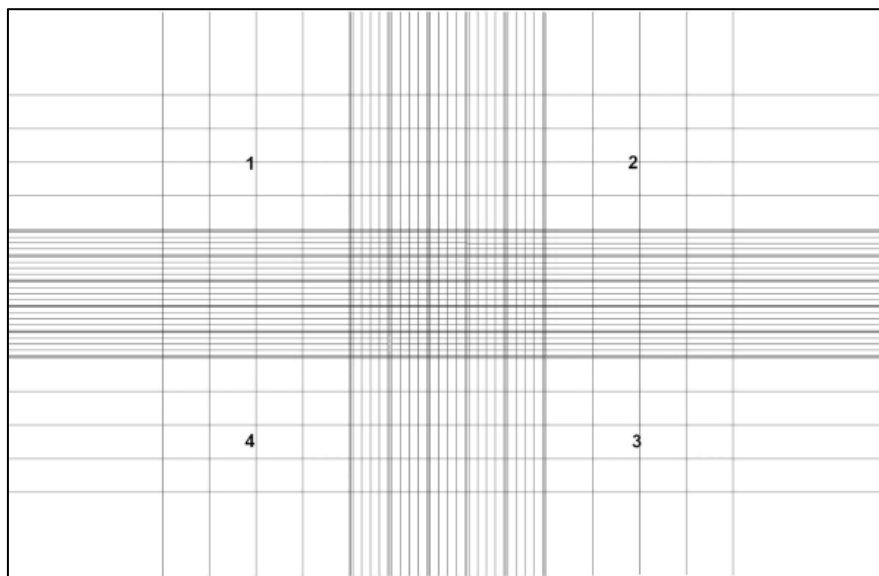
El conteo de microalgas se realiza siguiendo un protocolo específico para asegurar la precisión de los resultados. Siguiendo los siguientes pasos:

- Extraer 10 microlitros de la muestra de microalgas.
- Colocar un cubreobjetos sobre la cámara de Neubauer y/o Sedgewick Rafter.
- Introduce la muestra en la cámara, permitiendo que el líquido se distribuya por capilaridad.
- Evitar la formación de burbujas o el movimiento del cubreobjetos, ya que esto invalidaría el conteo.

Si la concentración es baja se contarán los cuadrantes 1, 2, 3 y 4 como se muestra en la figura 6.

Figura 6.

Vista de cámara de Neubauer



Nota: El diagrama representa una cámara de conteo, probablemente una cámara de Neubauer, con los cuadrantes 1, 2, 3 y 4 indicados para el conteo de células o partículas cuando la concentración es baja. Fuente: insilico.ehu, 2022.

3.5. Transferencia

La transferencia de pre-cría de camarón a través de bombas y tuberías se ha establecido como una técnica moderna y eficiente; este método realizado por personal capacitado, asegura una transferencia ágil y eficaz y a continuación, se describe el procedimiento.

Paso	Actividad	Descripción breve
1	Revisión del equipo	Verificar funcionamiento antes de iniciar.
2	Bajar nivel de agua	Retirar tablonces de la piscina de origen.
3	Instalar bomba de transferencia	Ensamblar bomba, instalar cubeto y conectar tubería de 4".
4	Recolectar y pesar camarones	Encender bomba, recolectar, pesar y registrar camarones.
5	Transferir camarones	Trasladar al cubeto y bombear a la piscina de destino.

3.6. Manejo de engorde

Antes de la siembra en engorde, se lleva a cabo la preparación del suelo, donde se aplican probióticos para eliminar bacterias Gram negativas y mejorar sus condiciones. Posteriormente, se procede con el llenado de agua y su fertilización. Una vez lista la piscina, se realiza la siembra mediante la transferencia de las precrías.

La alimentación en engorde puede aplicarse mediante voleo o con alimentadores automáticos. A continuación, se describe el proceso de manejo d engorde.

1. Fase inicial (camarones < 5 g)

- Se suministra alimento balanceado de 1,2 mm.
- Se mantiene hasta que los camarones alcanzan 5 gramos.

2. Fase de transición (5 g en adelante)

- Durante 5 días se utiliza alimento de 2,0 mm, alternando con el de 1,2 mm.

3. Inicio de alimentación automática

- El proceso inicia cuando los camarones alcanzan 3 g.
- Progresión en 5 días:
 - Día 1: 30% automático y 70% voleo.
 - Día 2: 100% automático.

4. Programación del sistema automático

- Funciona durante 12 horas: 12:00 PM a 12:00 AM
- Se divide en 3 ciclos de alimentación con pausas intermedias.
- Se cargan las tolvas con 50 Kg de alimento por la mañana, estas pueden llegar a 75 Kg.

- Distribución de alimento:
 - 30% entre las 12:00 PM – 3:00 PM
 - 70% entre 3:00 PM- 12:00 AM

5. Parámetros de dispersión del alimento

Tabla 7.

Dispersión de alimento para el camarón

Peso del camarón	Tiempo entre raciones	Tiempo de dispersión
3 - 14 g	5 minutos	36 segundos
> 14 g - cosecha	4 minutos	36 segundos

Fuente: Cortés, 2025

6. Monitorio de consumo

- Se utiliza el método del triángulo de arrastre
- Se aplica 15 minutos después del primer ciclo
- Si hay alimento sobrante se realiza lo siguiente:
 - Se aplica un segundo arrastre a los 45 min.
 - Si existen restos, se cancela el siguiente ciclo y se ajusta la dieta el siguiente día.

7. Evaluación de salud y biometría

- Se realiza 2 veces por semana en las mañanas
- **Salud:**
 - Se toma muestra de 4 puntos aleatorios
 - Se evalúa: hepatopáncreas, intestino, músculo, cuerpo.
- **Peso:**
 - Se realizan 4-6 lances
 - Calcular el peso promedio individual.

- **Monitoreo:**
 - Mortalidad
 - Deformidades
 - Variabilidad de talla.

Nota: en caso de anomalías, se realizan monitoreos diarias y aplicación de tratamientos correctivos.

3.7. Parámetros fisicoquímicos

Las actividades de monitoreo de la calidad de agua en piscinas comienzan con la selección apropiada del sitio para la medición de los parámetros físicos-químicos.

- **Parámetros de Oxígeno y Temperatura**

Se toman tres muestras de oxígeno a lo largo del día (01:00 a.m., 04:00 a.m. y 04:00 p.m.), utilizando el equipo YSI 550. Antes de medir, se debe calibrar la sonda siguiendo las instrucciones del fabricante; para obtener las lecturas, la sonda debe sumergirse a una profundidad de 60 cm y esperar a que el medidor se estabilice.

Tabla 8.

Análisis de Oxígeno

Oxígeno disuelto	Efecto
Menor de 1-2 mg/L	Puede ser mortal si la exposición dura más de 30 minutos.
2-3 mg/L	Crecimiento será lento si la baja de oxígeno se prolonga.
3-8 mg/L	Mejor condición para crecimiento adecuado (saturación).
> 8 mg/L	Puede ser dañino si la sobresaturación persiste.

Parámetro	Método / Reactivo	Procedimiento resumido
Amonio (NH₄⁺)	Kit para peceras o espectrofotómetro (ácido salicílico y cianúrico)	Agregar reactivos, luego medir en espectrofotómetro HACH DR3900.
Nitrito (NO₂⁻)	Reactivo NitriVer3	Añadir reactivo y medir en programa específico del espectrofotómetro.
Alcalinidad (CaCO₃)	Reactivos Solución A y muestra en tubo	Agregar 2 ml de Sol. A + 0.5 ml muestra, homogenizar, esperar 5 min y medir en espectrofotómetro.
Turbidez	Disco Secchi	Sumergir hasta que desaparezca de la vista; registrar profundidad.
pH	Medidor de pH (campo)	Medir directamente en campo, sin agitar; registrar cuando el valor se estabilice.

Fuente: Cortez, 2025

3.8. Análisis de suelo

Se realizarán muestreos de suelo en cada piscina antes y después del experimento. Para ello, se tomarán 15 muestras compuestas en diferentes puntos de la piscina y se analizarán los siguientes parámetros:

- **pH del suelo:** Determinado mediante un potámetro en suspensión con agua destilada.
- **Materia orgánica (%):** Evaluada mediante el método de ignición a alta temperatura. (loss on ignition) (ASTM D7348).
- **Nitrógeno total:** Se realizo mediante el método de Kjeldahl que se realiza en tres etapas; digestión, destilación y titulación (AOAC 978.04).

- **Fosforo total:** Se realizo mediante el método colorimétrico con vanadato molibdato (ST 4500- PC).
- **Textura del suelo:** Determinada por el método de sedimentación.
- **Presencia de metales pesados:** Analizada mediante espectrofotometría de absorción atómica si es requerido.

3.9. Eficacia productiva

Para evaluar la eficacia de los tratamientos en la producción del camarón, se medirán los siguientes indicadores:

- **Tasa de crecimiento (g/día):** Determinada mediante el pesaje semanal de muestras representativas.
- **Tasa de conversión alimenticia (FCR):** Relación entre el alimento suministrado y el peso ganado por los camarones.
- **Supervivencia (%):** Determinada mediante conteos al inicio y al final del experimento.

Estos datos permitirán comparar la eficiencia de los tratamientos aplicados y determinar su impacto en la productividad del cultivo.

3.10. Análisis estadístico

Se aplicó un método estadístico para el estudio de las variables, que se inició con la valoración del cumplimiento del presupuesto de homogeneidad de las variables, empleando la prueba de Levene. A continuación, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para contrastar los promedios entre los dos experimentos y el grupo control. Si no se alcanza la uniformidad de varianza, se recurrirá a un ANOVA sólido (Welch).

Frente a resultados estadísticamente relevantes del ANOVA, se llevarán a cabo pruebas post-hoc para detectar las diferencias particulares entre los compañeros de grupos,

utilizando la prueba de Tukey cuando se verifique la uniformidad de varianza, o en caso contrario, la prueba de Games-Howell. Todos los estudios se llevaron a cabo con un margen de confianza del 95% ($p < 0.05$) utilizando el programa SPSS en su versión 19.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Análisis de Homogeneidad las Condiciones iniciales del Suelo

Para asegurar la validez de los resultados y la comparabilidad entre los grupos experimentales (Coctel 1, Coctel 2 y Control), se realizó un análisis de varianza ANOVA sobre las condiciones iniciales de la M.O y la relación N/P en el suelo de las piscinas, antes de la aplicación de los tratamientos. Previamente, se verificó el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

a) Descriptivos de las Condiciones Iniciales del Suelo

Las estadísticas descriptivas de las condiciones iniciales del suelo se presentan en la Tabla 9. En cuanto a la M.O. INICIO, los valores promedio fueron 6,26% para Coctel 1, 7,07% para Coctel 2 y 6,38% para el Control. Estas medias, al ser numéricamente cercanas, sugieren una condición inicial de materia orgánica similar entre los grupos.

Por su parte, para la relación N/P, expresada como unidades de Nitrógeno por cada unidad de Fósforo, se observaron medias de 131,00 para Coctel 1, 245,71 para Coctel 2 y 188,20 para el Control, además, es importante destacar que, aunque visualmente estas medias muestran una superior dispersión, especialmente la de Coctel 2, lo importante radica en la amplitud y significativa superposición de los intervalos de confianza del 95% para ambos parámetros.

Tabla 9.*Descriptivos Iniciales de M.O. y Relación N:P*

Variable	Grupo	Media	Desviación Típica	Error Típico	Límite inferior (95% CI)	Límite superior (95% CI)	Mínimo	Máximo
M.O. INICIO	COCTEL 1	6,26	0,95	0,43	5,08	7,45	5,6	7,84
	COCTEL 2	7,07	1,4	0,53	5,77	8,36	4,62	8,8
	CONTROL	6,38	1,63	0,73	4,36	8,4	3,8	8
	Total	6,63	1,33	0,32	5,94	7,31	3,8	8,8
RELACIÓN N/P INICIO	COCTEL 1	131	102,04	45,63	4,3	257,7	25	244
	COCTEL 2	245,71	149,21	56,4	107,72	383,71	128	560
	CONTROL	188,2	60,52	27,06	113,06	263,34	102	266
	Total	195,06	119,53	28,99	133,6	256,51	25	560

Además, la coincidencia observada es una señal inicial esencial que sugiere que, pese a las variaciones señaladas, todos los tratamientos comenzaron el experimento en condiciones idénticas; este análisis descriptivo preliminar respalda la hipótesis de la homogeneidad de las piscinas, la cual se confirmara a continuación a través de la prueba de Levene.

Se observa, en la tabla 10, el p-valor en ambos casos es mayor a 0,05, por lo tanto, se cumple el criterio de homogeneidad de varianzas, permitiendo así aplicar pruebas paramétricas como el ANOVA para la comparación de medias entre grupos.

Tabla 10.*Prueba de homogeneidad*

Variable	Estadístico de Levene	gl1	Sig. (p-valor)
M.O. INICIO	0,316	2	0,734
RELACIÓN N/P INICIO	0,994	2	0,395

En la Tabla 11, para la M.O. inicial, el análisis mostró un valor F de 0,622, con 2 grados de libertad entre grupos y 9 grados de libertad para el error, resultando en un valor de significancia (p-value) de 0,551.

De manera similar, para la Relación N:P inicial, se obtuvo un valor F de 1,427, también con 2 grados de libertad entre grupos y 9 grados de libertad para el error, y un p-value de 0,273. Dado que en ambos casos los valores de p-valor fueron superiores a 0,05, se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para ninguna de las variables, lo cual confirma la homogeneidad de las condiciones iniciales del suelo previo a la aplicación de los tratamientos

Tabla 11.

ANOVA

Variable	F	Sig. (p-valor)
M.O. INICIO	0,622	0,551
RELACIÓN N/P INICIO	1,427	0,273

4.1.2. Materia Orgánica y Relación Nitrógeno-Fósforo Final en Suelo

En la tabla 12, para la materia orgánica al final del cultivo, las medias observadas por grupo fueron de 6,82% para Coctel 1, 7,46% para Coctel 2 y 6,65% para el grupo Control. Se destaca que el grupo Coctel 2 registró la media más elevada para esta variable. La variabilidad dentro de los grupos, medida por la desviación típica, fue de 0,72 para Coctel 1, 1,19 para Coctel 2 y 1,72 para el Control (Figura 7).

Por otro lado, para la Relación Nitrógeno-Fósforo al final del cultivo, el grupo Control mostró la media más alta 266,83, seguido de cerca por Coctel 2 con 256,43 y Coctel 1 con 237,80 (Figura 8). Es importante señalar la considerable dispersión de los datos en esta

variable, con desviaciones típicas que oscilaron entre 90,55 (Coctel 2) y 167,79 (Coctel 1), indicando una alta variabilidad intra-grupo.

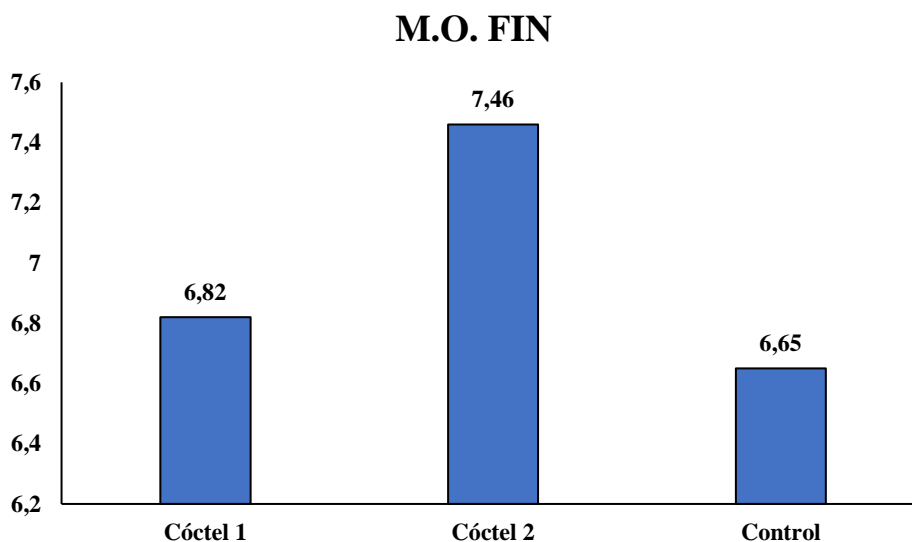
Tabla 12.

Descriptivos finales de M.O. y Relación N/P

Variable	Grupo	Media	Desv. Típica	Error Típico	Lím. Inferior IC 95%	Lím. Superior IC 95%	Mínimo	Máximo
M.O. FIN	Cóctel 1	6,82	0,72	0,32	5,92	7,73	6,26	8,1
	Cóctel 2	7,46	1,19	0,45	6,36	8,56	6	9,7
	Control	6,65	1,72	0,7	4,84	8,45	4,6	8,84
	Total	7,01	1,27	0,3	6,38	7,65	4,6	9,7
RELACIÓN N/P FIN	Cóctel 1	237,8	167,29	74,81	30,08	445,52	76	482
	Cóctel 2	256,43	90,54	34,22	172,69	340,17	163	420
	Control	266,83	106,91	43,64	154,64	379,03	172	475
	Total	254,72	113,92	26,85	198,07	311,37	76	482

Figura 7.

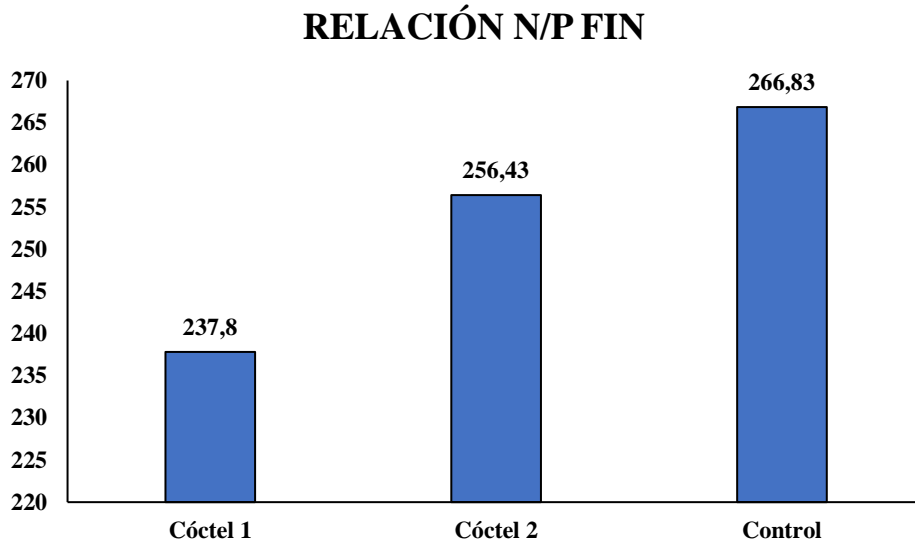
Resultado de medias de materia orgánica final



Nota: El gr6fico de barras muestra las medias de la materia org6nica final para C6ctel 1 (6.82), C6ctel 2 (7.46), y Control (6.65).

Figura 8.

Resultado de medias de relación N/P final



Nota: El gráfico de barras presenta las medias de la relación N/P final para Cóctel 1 (237,8), Cóctel 2 (256,43), y Control (266,83).

Posteriormente, se realizó la Prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas de M.O. FIN y RELACIÓN N/P FIN entre los grupos (Tabla 8). Los resultados mostraron valores de significancia de 0,103 para M.O. FIN y 0,351 para RELACIÓN N/P FIN. Dado que ambos p-valores fueron superiores a 0,05, se confirmó el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas para ambas variables.

Tabla 13.

Prueba de homogeneidad

Variable	Estadístico de Levene	gl1	Sig. (p-valor)
M.O. FIN	2,653	2	0,103
RELACIÓN N/P FIN	1,124	2	0,351

Finalmente, el análisis de varianza (ANOVA de un factor) fue aplicado para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables finales (Tabla 14). Los resultados indicaron que no hubo diferencias estadísticamente significativas para la M.O. FIN ni para la Relación N:P FIN. Por lo tanto, los cócteles bacterianos no tuvieron un impacto significativo en la Materia Orgánica ni en la Relación N/P del suelo al final del cultivo.

Los resultados de este análisis, al no encontrarse diferencias significativas para las características edáficas al final del cultivo, esto indica que, bajo las circunstancias de este análisis, los tratamientos no alteraron significativamente las condiciones químicas edáficas al finalizar el periodo de cultivo, lo que implica que las variaciones observadas se deben probablemente al azar y no al efecto de los cócteles bacterianos.

Tabla 14.

ANOVA

Variable	F	Sig. (p-valor)
M.O. INICIO	0,702	0,511
RELACIÓN N/P INICIO	0,080	0,923

4.1.3. Relación Nitrógeno-Fósforo y su Correlación con el Fitoplancton

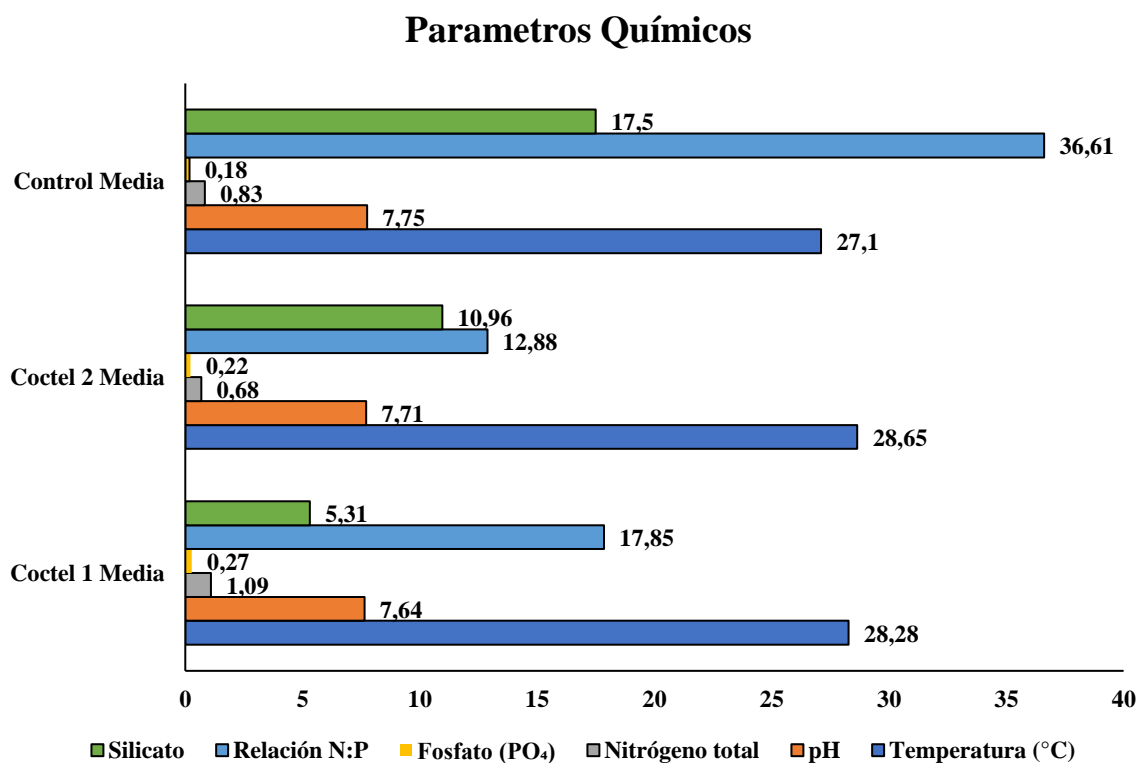
a) Descripción del Comportamiento de las Variables durante el Cultivo

En la figura 9, basándose en la tabla de resultados, tanto las temperaturas como los valores de pH se conservan de manera constante parecidas entre los cócteles y el control, variando cerca de los 28°C y un pH levemente alcalino de 7,7, por otro lado, en el coctel 1, se observa un Nitrógeno total más elevado con una media de 1,09 mg/L y el Fosfato también llega a su máximo nivel en el Cóctel 1 con una media de 0,27 mg/L, mientras que en el

control se observan las concentraciones más reducidas de ambos. Contrastando los resultados, la relación N:P se destaca significativamente, evidenciando una elevación extrema en el Control con 36,61 mg/L, la cual sugiere una limitación de fósforo, en contraste, el Cóctel 2 reduce esta relación considerablemente al valor más bajo de 12,88 mg/L, indicando un balance más equilibrado; por último, los niveles de Silicato son inversamente proporcionales a la aplicación de los cócteles, siendo más altos en el Control (17,50) y los más bajos en el Cóctel 1 (5,31), lo que podría implicar un consumo o interacción diferenciada en presencia de los cócteles.

Figura 9.

Resultado de medias de parámetros químicos

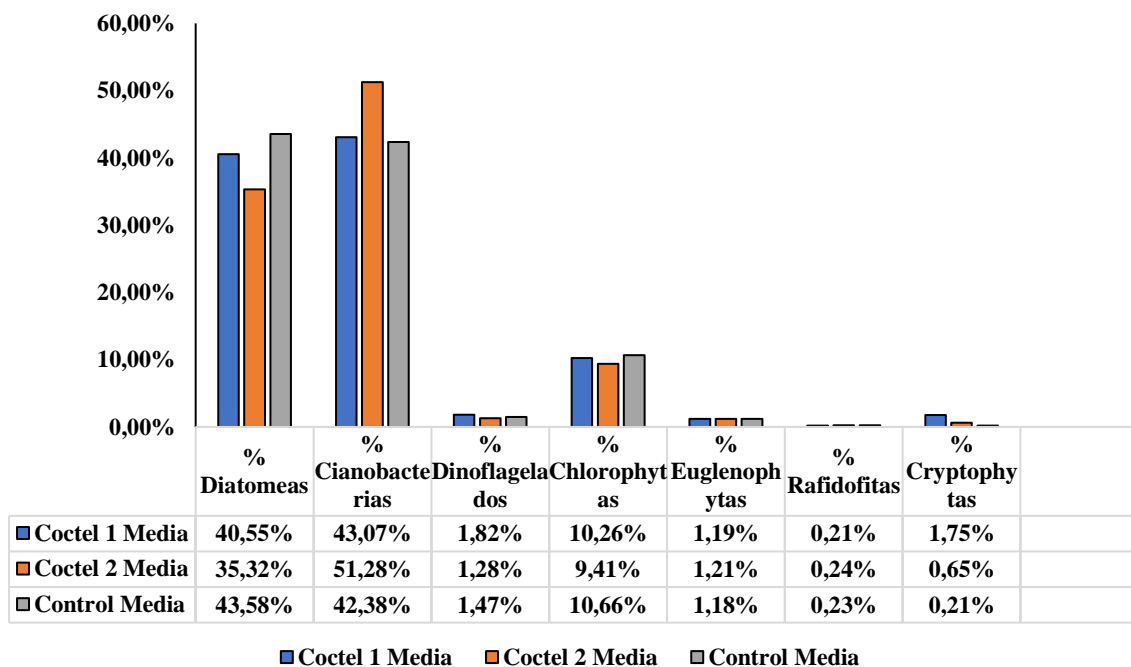


Nota: El gráfico de barras muestra las medias de diversos parámetros químicos para Control, Coctel 2 y Coctel 1, incluyendo silicato, relación N:P, fosfato (PO₄), nitrógeno total, pH y temperatura.

El análisis del fitoplancton en la figura 10 muestra cambios significativos en la composición de las comunidades bajo la influencia de los cocteles, el coctel 2 provocó un notable aumento de la abundancia de cianobacterias con una media de 51,28%, mientras que las diatomeas disminuyeron con una media de 35,32%, también, tuvo un porcentaje de 9,41% para Chlorophytas, por el contrario, el coctel 1 mantuvo un alto porcentaje de diatomeas con una media de 40,55%, la cual es comparable con el resultado del control que tuvo una media de 43,58%, adicional, se observó un alto porcentaje en las cianobacterias con 43,07%, Chlorophytas un 10,26%. En contraste, el control se caracterizó por el predominio de las diatomeas y cianobacterias, finalmente, los grupos de Dinoflagelados, Chlorophytas, Euglenophytas y Rafidofitas mantienen porcentajes minoritarios y relativamente en todos los tratamientos.

Figura 10.

Resultado de medias de fitoplancton



Nota: El gráfico de barras muestra la composición porcentual de diferentes grupos de fitoplancton (Diatomeas, Cianobacterias, Dinoflagelados, Chlorophytas, Euglenophytas, Rafidofitas y Cryptophytas) para las condiciones de Coctel 1, Coctel 2, y Control.

La tabla 15, muestra los resultados para el nitrógeno total, se observa que el Coctel 1 tiene la media más alta con 1,088 mg/L, seguido del control con una media de 0,831 mg/L, mientras que el Coctel 2 tiene el valor más bajo con 0,677 mg/L, por consiguiente, las cianobacterias muestran una elevada proporción tanto en el Coctel 1, como en el Coctel 2 con unas medias de 43,07% y 51,28 %, respectivamente. Entonces, esto surge que la presencia no necesariamente disminuye con niveles bajos de nitrógeno. Lo que representa, que las cianobacterias pueden ser capaces de prosperar en ambientes con niveles más bajo de nitrógeno, particularmente si el fósforo está disponible en concentraciones suficientes. Por el contrario, las diatomeas, que necesitan nitrógeno y silicio para su estructura, muestran un porcentaje menor en Coctel 2, este resultado debido a que las condiciones nutricionales no les son tan favorables.

En cuanto al fósforo (PO₄), el Coctel 1 mostró la concentración más alta con una media de 0,268 mg/L, seguido del Coctel 2 con una media de 0,224 mg/L, y el control con una media de 0,176 mg/L; no obstante, a pesar de que el Coctel 1 posee la mayor concentración de fósforo, las diatomeas no presentaron su porcentaje mayor allí, sino en el control, lo que sugiere que no solo el fósforo influye en su distribución; de esta manera, las cianobacterias incrementan significativamente su presencia en Coctel 2, lo que indica que una mayor disponibilidad relativa de fósforo las favorece.

Al examinar la proporción de N:P, se observaron tendencias distintivas en la composición del fitoplancton, en particular el Coctel 2 mostró una relación de 12,88 mg/L, lo cual se reflejó en una mayor abundancia de cianobacterias con una media de 51,28 %, confirmando su adaptabilidad a entornos con menos disponibilidad de fósforo. Por su parte, el tratamiento control mostró una relación N:P significativamente elevada (36,61), asociada al mayor porcentaje de diatomeas (43,58 %), coherente con su preferencia por ambientes ricos en nitrógeno. El Coctel 1, con una relación N:P intermedia y cercana al valor ideal

(17,85), presentó una distribución más equilibrada de grupos, destacándose diatomeas (40,55 %) y cianobacterias (43,07 %).

En cuanto al silicato, nutriente esencial para la formación de las frústulas de las diatomeas, se encuentra en su mayor concentración en el control (17,5 mg/L), seguido por el Coctel 2 (10,961 mg/L) y finalmente por el Coctel 1 (5,307 mg/L). Esta disponibilidad parece reflejarse en la mayor proporción de diatomeas en el control, que coincide con una relación N:P elevada y con un ambiente posiblemente más favorable para su desarrollo. Sin embargo, en el Coctel 2, a pesar de tener más silicato que el Coctel 1, las diatomeas presentan un porcentaje menor, lo que podría deberse al exceso relativo de fósforo y la baja proporción de nitrógeno, que limita su desarrollo frente al crecimiento acelerado de las cianobacterias.

Tabla 15.

Medias y D.E. de parámetros químicos y fitoplancton por cóctel

Variable	Coctel 1 Media	Coctel 1 Desv. típ.	Coctel 2 Media	Coctel 2 Desv. típ.	Control Media	Control Desv. típ.
Temperatura (°C)	28,28	1,61	28,65	1,75	27,10	1,66
pH	7,64	0,43	7,71	0,49	7,75	0,45
Nitrógeno total	1,09	0,66	0,68	0,40	0,83	0,44
Fosfato (PO₄)	0,27	0,16	0,22	0,12	0,18	0,16
Relación N:P	17,85	17,47	12,88	9,27	36,61	46,93
Silicato	5,31	8,41	10,96	5,46	17,50	2,83
% Diatomeas	40,55%	19,86%	35,32%	20,73%	43,58%	24,43%
% Cianobacterias	43,07%	19,93%	51,28%	22,09%	42,38%	22,37%
% Dinoflagelados	1,82%	1,25%	1,28%	1,22%	1,47%	1,72%
% Chlorophytas	10,26%	7,77%	9,41%	6,66%	10,66%	9,69%
% Euglenophytas	1,19%	1,36%	1,21%	2,08%	1,18%	2,17%
% Rafidofitas	0,21%	0,42%	0,24%	0,41%	0,23%	0,46%
% Cryptophytas	1,75%	5,53%	0,65%	3,35%	0,21%	1,54%
Total cel/mL	93529,90	46458,15	142798,26	80136,39	100098,19	48634,44

b) Análisis de Diferencias entre Cocteles (ANOVA)

El análisis de varianza reveló diferencias estadísticamente significativas en la media de la Temperatura ($p = 0.007$), el Nitrógeno Total ($p = 0.045$), la relación N:P ($p = 0.028$) y la Abundancia Total de Fitoplancton (Total cel/mL) ($p = 0.000$) entre los diferentes cócteles experimentales (Tabla 16). Esto indica que al menos un par de cócteles difirió significativamente en estas variables durante el periodo de estudio.

A pesar de las diferencias notables en las condiciones químicas y la abundancia total de fitoplancton, el ANOVA no reveló variaciones estadísticamente significativas en la composición porcentual promedio de los principales grupos de fitoplancton entre los cocteles.

Los valores de p-valor obtenidos para Diatomeas, Cianobacterias, Dinoflagelados, Chlorophytas, Euglenophytas, Rafidofitas y Cryptophytas fueron 0.153, 0.073, 0.196, 0.728, 0.996, 0.964 y 0.131, respectivamente, esto señala que las diferencias notadas en los promedios de estos grupos entre los cócteles no fueron lo suficientemente grandes como para ser consideradas estadísticamente diferentes, pudiendo ser atribuidas al azar, a pesar de las diferencias significativas en las condiciones químicas o en la abundancia total. Se realizó la prueba de tukey para las variables que tuvieron diferencia significativa.

Tabla 16.

ANOVA para los parámetros físico-químicos y biológicos

Variable	F	Significancia (p)
Temperatura	5,33	0,007
pH	0,30	0,741
Nitrógeno total	3,27	0,045
Fosfato (PO₄)	1,88	0,162

Relación N:P	3,78	0,028
Silicato	2,77	0,086
% Diatomeas	1,90	0,153
% Cianobacterias	2,66	0,073
% Dinoflagelados	1,65	0,196
% Chlorophytas	0,32	0,728
% Euglenophytas	0,004	0,996
% Raphidophytas	0,04	0,964
% Cryptophytas	2,06	0,131
Total células/mL	9,24	0,000

- **Prueba de Tukey para temperatura**

La prueba de Tukey, en la tabla 17 para la Temperatura indicó que, si bien el ANOVA global fue significativo cuyo p -valor fue de 0,007, las distinciones particulares entre los distintos cocteles no fueron tan pronunciadas como el resultado global podría sugerir, lo que represento una cantidad mayor de variaciones. De igual modo, se observó que el grupo Control con una media de 27,10°C y el Coctel 1 con una media 28,28°C no mostraron diferencias estadísticamente significativas en su temperatura promedio con un p valor de 0,074. De manera similar, el Coctel 1 y el Coctel 2 con una media de 28,65°C tampoco difirieron significativamente en temperatura con un p valor de 0,767.

El hecho de que el Coctel 1 se encuentre superpuesto en ambos subconjuntos homogéneos indica que funcionó como un valor medio. Por lo tanto, se detectó la única variación estadísticamente relevante en la temperatura media entre el Control y el Coctel 2, siendo la temperatura del Coctel 2 significativamente más alta que la del Control (Figura 11).

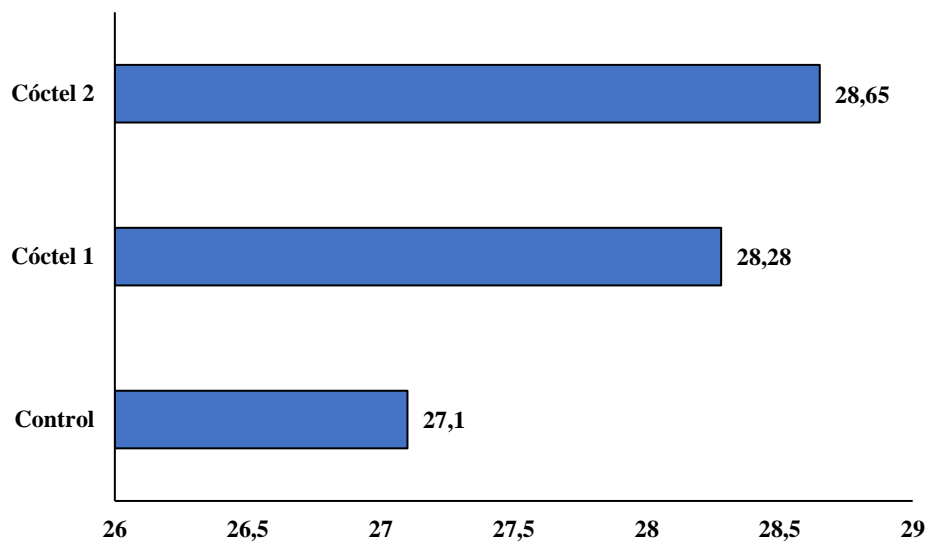
Tabla 17.

Tukey-temperatura

Tratamiento	Subgrupo 1	Subgrupo 2
Control	27,10	
Cóctel 1	28,28	28,28
Cóctel 2		28,65
Significancia	0,074	0,767

Figura 11.

Resultado de medias de temperaturas



Nota: El gráfico de barras muestra las temperaturas medias para Cóctel 2 (28,65°C), Cóctel 1 (28,28°C), y Control (27,1°C).

- **Prueba de Tukey para Nitrógeno total**

El análisis de Tukey, en la tabla 18, para el Nitrógeno Total cuyo ANOVA general fue significativo con p valor de 0,045, mostro que el Coctel 2, con una media de 0,677 mg/L y el Control con una media 0,831 mg/L, se ubicaron en el primer subconjunto homogéneo, sin presentar diferencias significativas de sus medias con un p valor de 0,588. De manera similar, el Control y el Coctel 1 cuya media fue 1,088 mg/, constituyeron un segundo subconjunto, sugiriendo que tampoco existían diferencias significativas con un p valor de 0,233. Dada la superposición del grupo Control en ambos subconjuntos, la única distinción estadísticamente relevante en el Nitrógeno Total promedio se evidenció entre el Coctel 2 y el Coctel 1, siendo el Nitrógeno Total del Coctel 1 considerablemente superior al del Coctel 2 (Figura 12).

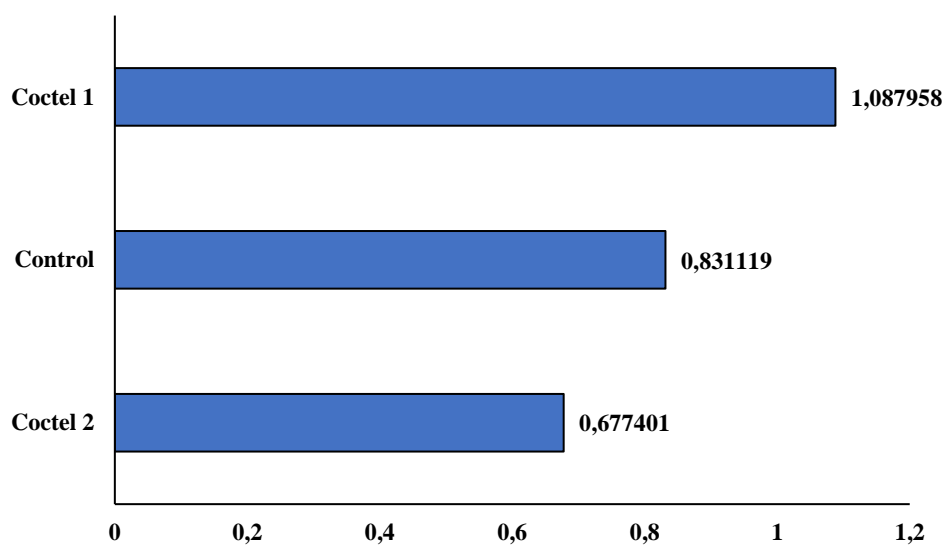
Tabla 18.

Tukey-nitrógeno total

Coctel	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Coctel 2	0,677401	
Control	0,831119	0,831119
Coctel 1		1,087958
Sig.	0,588	0,233

Figura 12.

Resultado de medias de nitrógeno total



Nota. El gráfico de barras muestra las medias de nitrógeno total para Coctel 1 (1,087958), Control (0,831119), y Coctel 2 (0,677401).

- **Prueba de Tukey para N:P**

El análisis de Tukey, presentado la tabla 19 para la relación N:P, cuyo ANOVA general arrojó un resultado significativo con p valor de 0,028, mostró que el Coctel 2 con media de 12,88 y el Coctel 1 con una media de 17,85 se agruparon en el primer subconjunto homogéneo con un p 0,864, esto indica que sus medias de N:P no fueron significativamente diferentes; de manera similar, el Coctel 1 y el grupo Control con una media de 36,61 conformaron un segundo subconjunto con un p valor de 0,134, lo que sugiere que tampoco difirieron significativamente entre sí; cabe destacar que el grupo Control se caracteriza por la relación N:P más alta con una media de 36,61, lo cual es un indicativo de una posible limitación de fósforo en ese tratamiento (Figura 13).

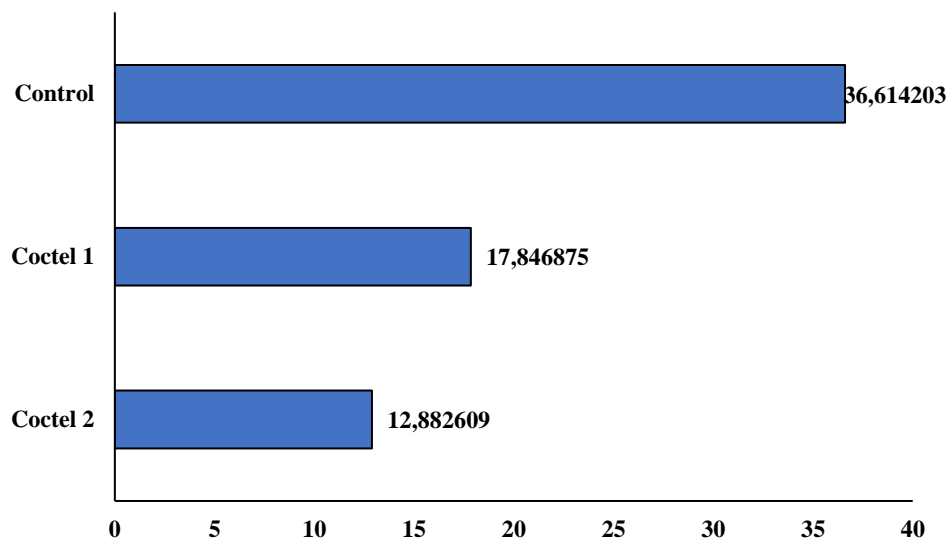
Tabla 19.

Tukey-N:P

Coctel	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Coctel 2	12,882609	
Coctel 1	17,846875	17,846875
Control		36,614203
Sig.	0,864	0,134

Figura 13.

Resultado de medias de N/P



Nota: El gráfico de barras presenta las medias de la relación N/P para Control (36,614203), Coctel 1 (17,846875), y Coctel 2 (12,882609).

- **Prueba de Tukey para total cel/mL**

La prueba de Tukey, en la tabla 20 aplicada a la abundancia total de fitoplancton, se evaluó el total cel/mL, el cual reveló que, tras un ANOVA global resultó altamente significativo con un valor de p de 0,000, evidenció diferencias notables entre los grupos. El Coctel 1 con un promedio de 93529,9 cel/mL y el Control que registró una media promedio de 100098,2 cel/mL, se integraron en un mismo subconjunto homogéneo, lo que indica la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre sus medias. Por el contrario, el Coctel 2 que presentó una media de 142798,3 cel/mL, se ubicó en un subconjunto claramente diferenciado, sin coincidir con los anteriores (Figura 14).

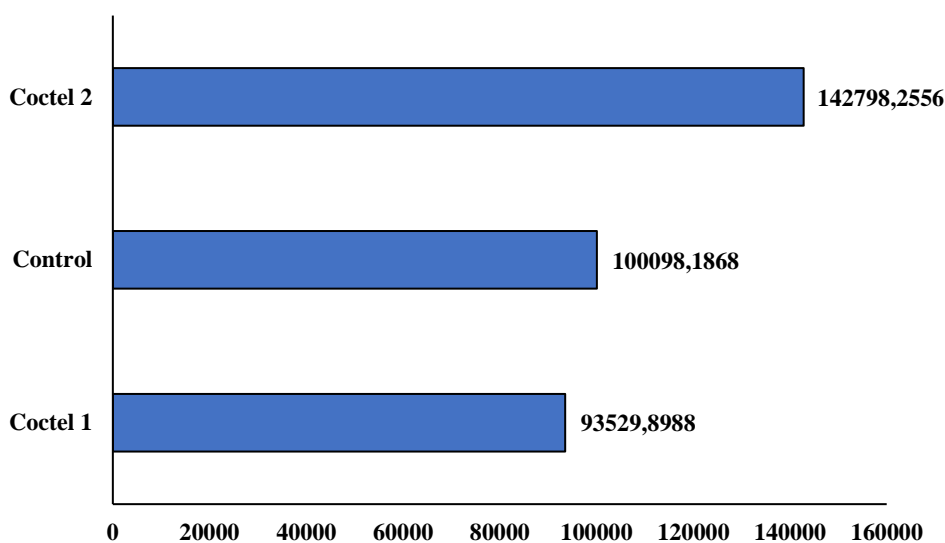
Tabla 20.

Tukey – cel/mL

Coctel	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Coctel 1	93529,89880	
Control	100098,1868	
Coctel 2		142798,2556
Sig.	0,863	1,000

Figura 14.

Resultado de medias de total de cel/ml



Nota: El gráfico de barras muestra las medias del total de células por mililitro para Coctel 2 (142798.2556), Control (100098.1868), y Coctel 1 (93529.8988).

c) Correlación de Pearson entre N:P, abundancia total y proporción de grupos fitoplanctónicos

En la tabla 21, el análisis de correlación de Pearson realizado entre la relación N:P y distintas variables del fitoplancton, se evidencia que la mayoría de las asociaciones no son estadísticamente significativas, lo que sugiere que la relación N:P no actúa como un factor lineal determinante en la abundancia total ni en la proporción de la mayoría de los grupos fitoplanctónicos analizados.

La única correlación significativa fue entre N:P y el porcentaje de Chlorophytas ($r = 0,273$; $p = 0,034$), lo que indica una relación positiva débil, es decir, a mayor relación N:P, ligeramente tiende a incrementarse la proporción de *Chlorophytas* en la comunidad; no obstante, no se encontraron asociaciones significativas entre N:P y otros grupos como *Diatomeas*, *Cianobacterias*, *Dinoflagelados*, *Euglenophytas*, *Rafidofitas* o *Cryptophytas*, ni con la abundancia total de células, lo que refuerza la idea de que esta relación nutrimental

por sí sola no explica las variaciones en la estructura general del fitoplancton. En contraposición, al estudiar otras relaciones en la comunidad fitoplanctónica, se resaltan vínculos significativos que proporcionan contexto ecológico al sistema; por ejemplo, se encontró una correlación negativa entre la abundancia total de células y el porcentaje de Diatomeas ($r = -0,327$; $p < 0,01$) y Dinoflagelados ($r = -0,300$; $p < 0,01$), mientras que se encontró una relación positiva con las Cianobacterias ($r = 0,461$; $p < 0,01$), lo que indica que este conjunto podría estar promoviendo los picos de biomasa. Además, se evidenció una relación fuertemente negativa entre Diatomeas y Cianobacterias ($r = -0,898$; $p < 0,01$), lo cual indica una posible competencia directa entre ambos grupos, donde el dominio de uno excluye al otro. En conjunto, estos resultados sugieren que, más allá de la relación N:P, las interacciones entre grupos funcionales y la dinámica de abundancia total ofrecen claves más reveladoras sobre la estructura del fitoplancton en el sistema analizado.

Tabla 21.

Tukey – cel/mL

Variables Correlacionadas	Coefficiente (r)	p- valor	Tipo de Correlación	Interpretación
N:P vs. %Chlorophytas	0.273*	0.034	Positiva débil- moderada	A mayor N:P, ligero aumento de Chlorophytas.
Total cel/mL vs. %Diatomeas	-0.327***	<0.001	Negativa moderada	Mayor abundancia celular, menos diatomeas.
Total cel/mL vs. %Cianobacterias	0.461***	<0.001	Positiva moderada- fuerte	A más células totales, más cianobacterias.
Total cel/mL vs. %Dinoflagelados	-0.300***	<0.001	Negativa moderada	Menos dinoflagelados en altas densidades.

Total cel/mL vs. %Cryptophytas	-0.172*	0.039	Negativa débil	Relación inversa leve.
%Diatomeas vs. %Cianobacterias	-0.898***	<0.001	Negativa muy fuerte (casi perfecta)	Competencia/exclusión mutua clara.

4.1.4. Indicadores productivos

El estudio de varianza, en la tabla 22 reveló variaciones estadísticamente relevantes entre los tratamientos para la variable de biomasa de cosecha por hectárea ($F = 7,336$; $p = 0,007$), lo que señala que al menos uno de los grupos evaluados presenta una diferencia significativa en relación con la producción de biomasa. Asimismo, la variable de supervivencia mostró variaciones considerables ($F = 5,873$; $p = 0,014$), indicando que los tratamientos ejercen un impacto distinto en la supervivencia de los organismos estudiados. En cambio, los grupos no presentaron diferencias significativas entre las variables de crecimiento semanal ($F = 2,082$; $p = 0,162$) y el factor de conversión alimenticia (FCA) ($F = 0,180$; $p = 0,837$), lo que sugiere que los tratamientos implementados no tuvieron un impacto estadístico significativo en dichas variables.

Tabla 22.

Resultados del análisis de varianza indicadores productivos

Variable	F	Significancia (p)
Biomasa cosecha/ha	7,336	0,007 **
Supervivencia	5,873	0,014 *
Crecimiento semanal	2,082	0,162
FCA	0,180	0,837

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey, se presenta en la tabla 23 y realizada tras un ANOVA significativo con un valor p de 0,014 para la variable supervivencia, revelo que el grupo Control, con un 67,67%, y el Cóctel 1, que logró un 82,50%, una semejante estadística, lo que indica la ausencia de diferencias significativas en su promedio de supervivencia; de modo análogo, el Cóctel 1 y el Cóctel 2, con un 85,71%, también se agruparon en un conjunto estadísticamente semejante. Al observar que el Cóctel 1 se encuentra incluido en ambos grupos, se deduce que la diferencia significativa solo se da entre el Control y el Cóctel 2, siendo este último el que presenta una supervivencia considerablemente mayor (Figura 15).

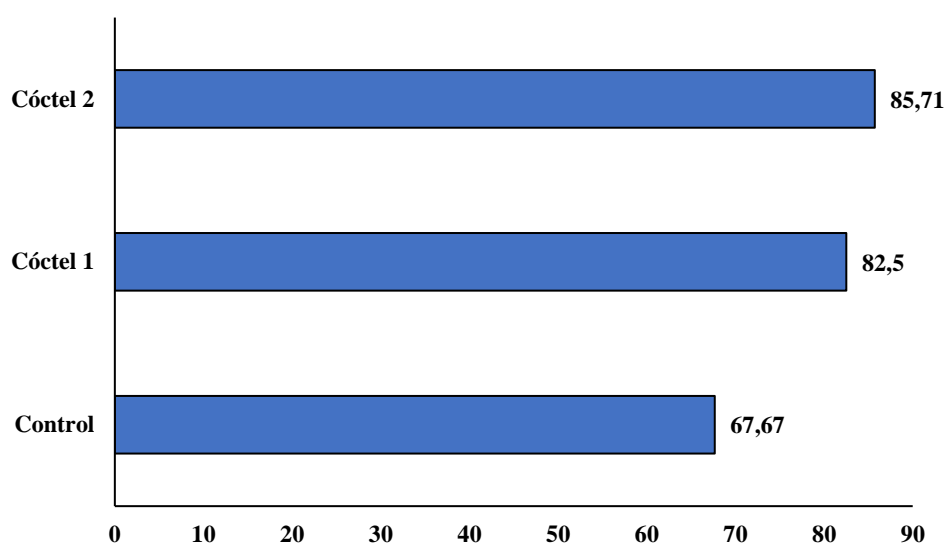
Tabla 23.

Tukey-supervivencia

Tratamiento	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Control	67,67	
Cóctel 1	82,50	82,50
Cóctel 2		85,71
Valor p	0,065	0,855

Figura 15.

Resultado de medias de supervivencia



Nota: El gráfico de barras muestra las medias de supervivencia para Cóctel 2 (85,71%), Cóctel 1 (82,5%), y Control (67,67%).

La prueba de Tukey, en la tabla 24 aplicada a la Biomasa Cosechada por Hectárea, reveló un comportamiento similar al de las variables previamente analizadas. El grupo Control, con una media de 13.576,17 kg/ha, y el Coctel 1, con un promedio de 15.673,75 kg/ha, conformaron el primer subconjunto homogéneo; aunque su valor p fue de 0,054, ligeramente superior al umbral de 0,05, sus medias no se consideran estadísticamente diferentes bajo este criterio.

Además, en el segundo subconjunto homogéneo, el Coctel 1 y el Coctel 2, con una media de 16.356,00 kg/ha, se agruparon presentando un valor p de 0,686, lo que indica que sus promedios tampoco exhiben diferencias significativas; dado que el Coctel 1 aparece en ambos subconjuntos, la única diferencia estadísticamente significativa se detectó entre el Control y el Coctel 2, donde este último mostró una biomasa cosechada por hectárea notablemente superior a la del Control.

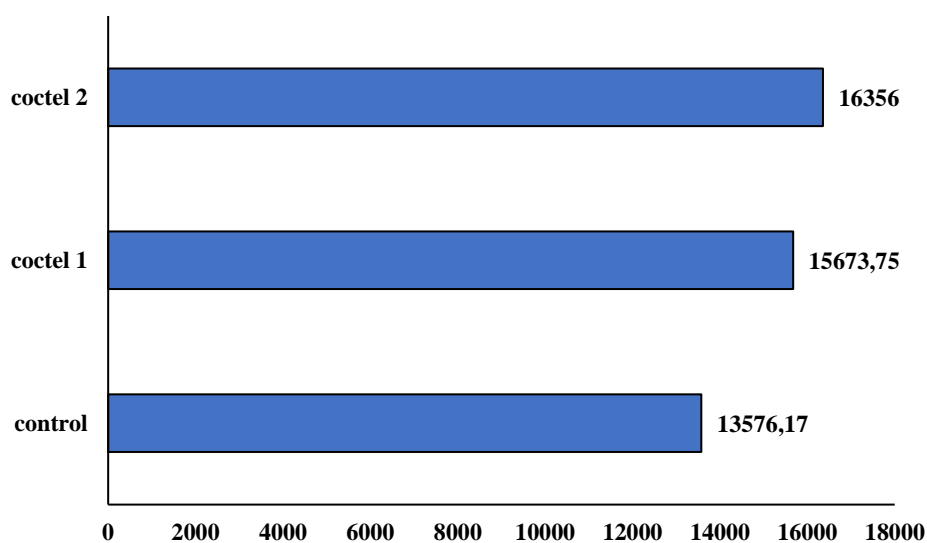
Tabla 24.

Resultados del Biomasa

Coctel	Subconjunto 1	Subconjunto 2
control	13576,17	
coctel 1	15673,75	15673,75
coctel 2		16356,00
Sig.	0,054	0,686
Valor p	0,065	0,855

Figura 16.

Resultado de medias de Biomasa



Nota: El gráfico de barras muestra las medias de biomasa para coctel 2 (16356), coctel 1 (15673.75), y control (13576.17).

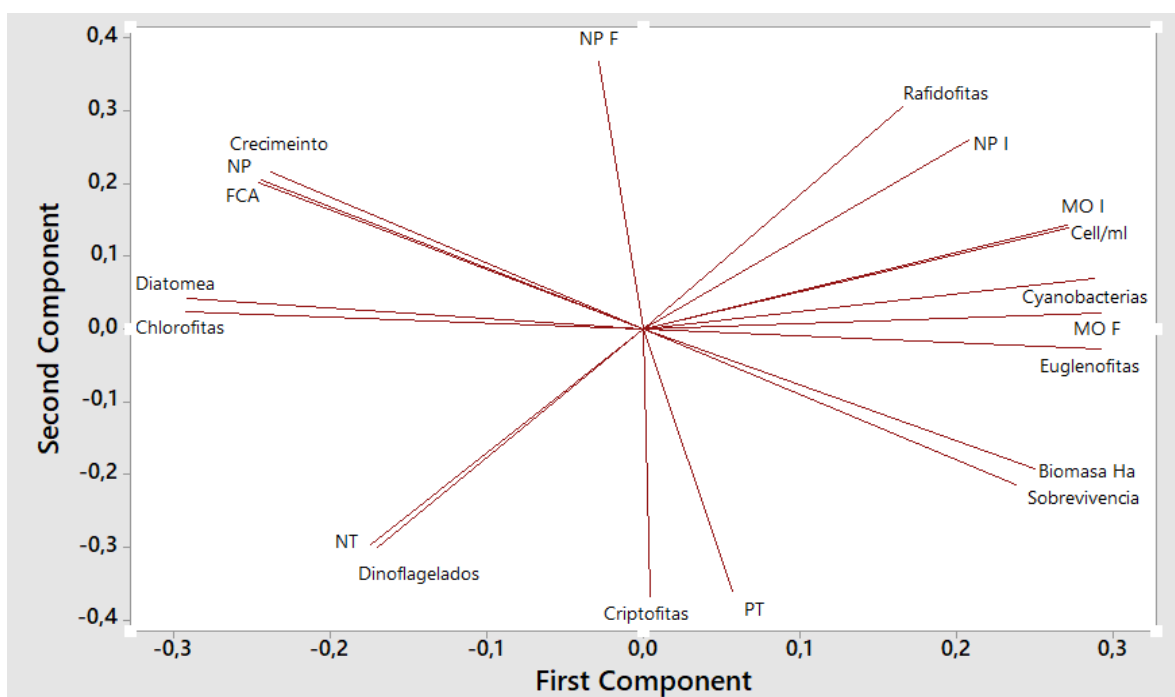
4.1.5. Análisis de Componentes Principales

El análisis de correlación reveló nueve relaciones estadísticamente representativas entre las variables fisicoquímicas, biológicas y de producción durante el cultivo. Se identificaron correlaciones positivas entre la relación nitrógeno/fósforo final (NP F) y las cianobacterias

($r = 0.502$), así como entre la relación nitrógeno/fósforo total (NP) en la columna de agua y este mismo grupo ($r = 0.532$), lo que sugiere que proporciones elevadas de nitrógeno respecto al fósforo favorecen su proliferación. El crecimiento semanal mostró una correlación positiva fuerte con el factor de conversión alimenticia (FCA) ($r = 0.652$), lo que indica que, aunque los organismos crecieron más, lo hicieron con un menor aprovechamiento del alimento, posiblemente asociado a sobrealimentación o desequilibrios en la eficiencia nutricional. En contraste, se hallaron correlaciones negativas entre el fósforo total (PT) y la materia orgánica final (MO F) ($r = -0.514$), así como entre cianobacterias y diatomeas ($r = -0.541$), lo que indica posibles efectos de mineralización o competencia entre grupos fitoplanctónicos. También se registraron relaciones negativas entre dinoflagelados y clorofitas ($r = -0.578$), entre crecimiento y clorofitas ($r = -0.562$), y entre criptófitas y rafidofitas ($r = -0.633$), evidenciando dinámicas de competencia interespecífica y asociaciones con condiciones ambientales que podrían influir en el rendimiento del cultivo.

Figura 17.

Resultados de análisis de componentes principales



4.2. Discusión

La investigación, se centro en evaluar la disminución del fósforos e impactos en la calidad del agua, suelo, utilizando cocteles bacterianos en granjas de cultivos *Penaeus vannamei*, se determinó el porcentaje M.O y N: P al final del cultivo, los resultados no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo, se destaca que el coctel 2 con una media de 7,46 tuvo mayor materia orgánica, por otro lado, la relación N:P final, resulto ser superior para el control con una media de 266,83, mientras que el coctel 2 le sigue con una media de 256,43.

Estos hallazgos contrastan con algunas expectativas teóricas sobre el papel de los cocteles bacterianos en la biorremediación de sedimentos, por ejemplo, Widiyanto et al. (2020), investigo sobre perfiles de *Vibrio* y bacterias heterotróficas en el cultivo intensivo de camarón utilizando técnicas de biorremediación, destaca que las bacterias pueden influir en el ambiente del estanque, estas bacterias en particular, son conocidas por su papel en la descomposición de la M.O. Otra investigación por Liu et al. (2021), en su estudio sobre biorremediación de depósitos orgánicos por la maricultura intensa de camarones, evaluaron la diferencia entre monocultivos y policultivo con *Mugil cephalus*; encontraron una reducción significativa de la acumulación de materia orgánica en el sedimento en sistemas de policultivo con acumulaciones de 0,53 g por metro cuadrado pro día frente al monocultivo con 2,87 g por metro cuadrado por día, lo que representa una reducción de más del 80%.

Por otro lado, frente a la relación N:P, la investigación de Krasaesueb et al. (2023), reportaron una reducción de fosforo en aguas residuales de camarones, al utilizar tratamientos biológico a corto plaza, lograron una eficacia de eliminación de fosfato del fosforo, sin embargo, no tuvieron los mismos resultados en todos los tratamiento, esto sugiere que, si bien la reducción del fosfato es factible con métodos biológicos, la eficacia puede depender del tipo de microorganismo; así mismo, Colette et al. (2023), destaco la

importancia de la dinámica de la diversidad microbiana activa en los sedimentos de rizosfera de halófitas para la biorreacción de piscinas de camarón, su investigación resalta como los microorganismos desempeñan un papel significativo en la descomposición de residuos ricos en nutrientes atrapados en el sedimento, lo cual es fundamental para el manejo de nitrógeno y fósforo, y por ende, para el equilibrio de ambos.

Es ampliamente reconocida la habilidad de las bacterias para afectar el ciclo del nitrógeno y el fósforo; no obstante, la falta de relevancia en nuestra investigación ($p=0.923$) para la relación N:P final en el sedimento puede justificarse por elementos parecidos a los de la materia orgánica: la composición o viabilidad del cóctel bacteriano, la dosis, la frecuencia de aplicación o la duración del tratamiento podrían no haber sido suficientes para producir un efecto cuantificable en un sistema complejo como el sedimento de una granja de camarones (Tian et al., 2021).

Paralelamente, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y la composición de fitoplancton de las piscinas, dentro de los parámetros fisicoquímicos, dentro de las variables evaluadas, la temperatura, el nitrógeno total y la relación N:P, la cual mostros diferencias significativas, el control mostró una relación N:P sumamente alta con 36,61, lo que indica una restricción de fósforo en este grupo, acorde con la teoría de que valores elevados de N:P (>20-30:1) pueden señalar carencias de fosforo (Redfield, 1958, citado en Smith, 1984).

Otros parámetros físico-químicos como la Temperatura y el Silicato también mostraron dinámicas interesantes, la temperatura en el cóctel 2 fue significativamente más alta que en el control ($p=0,007$), lo que podría haber influido en la actividad microbiana; la disminución del Silicato en los tratamientos con cócteles, aunque no estadísticamente significativa ($p=0,086$), sugiere una posible interacción o consumo diferencial, lo cual es relevante para la dinámica de las diatomeas que requieren silicato para su desarrollo.

Los investigadores, Azani et al. (2021), han identificado que la temperatura afecta directamente las tasas metabólicas de los organismos acuáticos, incluyendo bacterias, fitoplancton y el propio camarón, lo que significa, que un aumento en la temperatura como la observada, se debe a un proceso acelerado de la actividad microbiana de los cocteles, optimizando sus procesos de descomposición de materia orgánica y ciclo de nutriente; por otro lado, Zhao et al. (2023), hace referencia que la interconexión entre la temperatura y la actividad bacteriana es bidireccional, es decir, si bien una temperatura optima favorece el crecimiento, la actividad metabólica de una gran población bacteriana puede a su vez, generar calor.

En cuanto a la composición del fitoplancton, si bien los porcentajes individuales no mostraron diferencias significativas, el total de celular si fue altamente significativo, esto significa que la proporción relativa de los diferentes grupos no vario drásticamente, sin embargo, la densidad total de los fitoplancton se vio considerablemente afecta, en la investigación de Satyantini investigaron el efecto de la administración de bacterias (*Bacillus mycoides*, *B. subtilis* y *Pseudomonas diminuta*) aisladas de sedimento de estanques de camarón en la abundancia de plancton en medios de cultivo de camarón blanco (*Penaeus vannamei*), encontraron que el uso de probióticos pudo aumentar la abundancia de plancton; específicamente, encontraron que diferentes densidades de bacterias probióticas del sedimento del estanque de camarón resultaron en diferencias significativamente diferentes en la abundancia de plancton, obtuvo la densidad más alta de probióticos 10^8 cells/mL.

La falta de modificaciones notables en la composición porcentual de los grupos individuales de fitoplancton, pese a las fluctuaciones en la relación N:P y la temperatura, indica que los cócteles de bacterias podrían estar afectando la productividad global del sistema sin modificar de manera drástica la preponderancia de un grupo en particular, Tilliette et al. (2023) ha indicado que la estructura de las comunidades de fitoplancton está

regida por una intrincada interacción entre elementos abióticos y bióticos; puede que los impactos de los cócteles bacterianos sean más modestos en la estructura de la comunidad que en su productividad total, o que otros elementos del entorno estén ocultando modificaciones más significativas en la composición.

Finalmente, se evaluaron los indicadores productivos, en donde, el cóctel bacteriano 2 se destacó significativamente al aumentar tanto la biomasa cosechada por hectárea como la supervivencia del camarón sugiriendo un impacto directo y positivo en la productividad impulsado por un ambiente de cultivo optimizado aspecto que se alinea con investigaciones que demuestran cómo la gestión microbiana puede influir en la disponibilidad de nutrientes y la salud general de los organismos acuáticos tal como lo señalan autores como Soltani et al. (2019), quienes enfatizan que la calidad del agua mediada por microorganismos resulta clave para el crecimiento animal simultáneamente.

En cuanto a la supervivencia el cóctel 2 ofreció una protección crucial una observación consistente con la literatura que destaca el rol de los probióticos en la reducción del estrés ambiental y la prevención de enfermedades factores críticos para la supervivencia en sistemas de acuicultura intensiva es así que, Kulkarni et al. (2021), han documentado cómo ciertas cepas bacterianas mejoran la inmunidad y la resistencia a patógenos en camarones lo que se traduce directamente en tasas de supervivencia más altas de esta manera el éxito del cóctel en estos dos indicadores vitales valida su potencial como una herramienta biotecnológica eficaz para optimizar la producción y la rentabilidad en la camaronicultura.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Al final del ciclo de cultivo, el análisis estadístico ANOVA, indico que la aplicación de cocteles bacterianos tanto para el coctel 1 como el 2, no tuvo diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de materia orgánica ni en la relación N:P del mismo, en comparación con el grupo control, sin embargo, se observó variaciones en las medias entre los grupos, en donde, el coctel 1 tuvo la media más alta para la materia orgánica y el control con la media más alta para N:P, lo que se atribuye a que las condiciones del estudio, los cocteles evaluados no tuvieron impactos en las características edáficas finales en las variables analizadas.
- La aplicación de los cocteles bacterianos influyo en la relación N:P de la columna de agua y la abundancia total del fitoplancton, se encontró que el coctel 2 indujo la relación N:P más baja y una mayor abundancia de cianobacterias, mientras que el control, con la relación N:P más alta favoreció las diatomeas; aunque no se detectaron cambios estadísticamente diferentes en la composición porcentual de los grupos principales, la correlación de Pearson indico que N:P tuvo una influencia limitada en la mayoría de ellos, destacando la competencia entre diatomeas y cianobacterias.
- La evaluación en los indicadores productivos reveló que la aplicación de los cocteles tuvo un impacto estadísticamente significativo para las variables supervivencia y biomasa cosecha por hectárea, en la cual sobresale el coctel 2, cuya media fue mayor en ambas variables en comparación con el grupo control, mientras que el coctel 1 tuvo un comportamiento intermedio y no mostro diferencias significativas, por otro lado, la variable FCA y crecimiento no tuvieron diferencia estadística, esto sugiere que no necesariamente aceleran la tasa de crecimiento individual o mejora de conversión del

alimento.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que para futuras investigaciones se incluyan un monitoreo más frecuente de la materia orgánica y la relación N:P en el sedimento, para detectar efectos temporales no evidentes al final del cultivo, adicionalmente evaluar en distintas dosis y frecuencias de aplicación para optimizar el impacto en las características edáficas.
- Se recomienda profundizar en los mecanismos específicos por los cuales los cocteles bacterianos alteran el balance de nutrientes y la dinámica del fitoplancton, incluyendo análisis de toxicidad, además, se sugiere explorar el impacto de estos cambios en la ecología de las piscinas a largo plazo, para tener una gestión más efectiva y sostenible de la calidad del agua.
- Dado que se observaron beneficios en la supervivencia y biomasa cosechada, se recomienda la implementación de cocteles bacterianos como una estrategia para mejorar la productividad general en el cultivo de camarón, especialmente aquellas formulaciones que demostraron un efecto significativo, además evaluar como los cocteles influyen en la mortalidad temprano, y la aplicación de diferentes dietas y regímenes de alimentación.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Ghany, H. M., Salem, M. E.-S., Abouelkhier, S. S., & Helal, A. M. (2020). Effect of a cocktail of enzymes and probiotics on the growth and the bacterial enumeration in gut and effluents of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(3), 289-294.
<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.07.001>
- Azani, N., Ghaffar, M. A., Suhaimi, H., Azra, M. N., Hassan, M. M., Jung, L. H., & Rasdi, N. W. (2021). The impacts of climate change on plankton as live food: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 869(1), 012005.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/869/1/012005>
- Barbosa, J. do S. B., Bellotto, V. R., da Silva, D. B., & Lima, T. B. (2019). Nitrogen and Phosphorus Budget for a Deep Tropical Reservoir of the Brazilian Savannah. *Water*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/w11061205>
- Boyd, C. E., Davis, R. P., & McNevin, A. A. (2022). Perspectives on the mangrove conundrum, land use, and benefits of yield intensification in farmed shrimp production: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(1), 8-46.
<https://doi.org/10.1111/jwas.12841>
- Castro, E. J., Mayorga, G. A., & Paredes, O. D. (2020). *Evaluación de la capacidad de absorción de nutrientes usando lechuga (Lactuca sativa L) en un sistema acuapónico de cultivo de tilapia (Oreochromis niloticus)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].
<http://hdl.handle.net/123456789/7779>
- Chen, Z., Chang, Z., Wang, J., Liu, Y., Chen, S., & Li, J. (2021). Water quality, microbial community and shrimp growth performance of *Penaeus vannamei* culture systems

- based on biofloc or biofilters. *Aquaculture Research*, 52(12), 6656-6666.
<https://doi.org/10.1111/are.15535>
- Clayton, K. A., Ellis, R. P., Wilson, R. W., & Ferrer, A. (2024). Important Water Chemistry Variables for Shrimp Production. En *The Shrimp Book II* (pp. 286-335).
<https://doi.org/10.1079/9781800629363.0011>
- CNA. (2022, marzo 31). *Estadísticas—Cámara Nacional de Acuicultura*.
<https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- Colette, M., Guentas, L., Patrona, L. D., Ansquer, D., & Callac, N. (2023). Dynamic of active microbial diversity in rhizosphere sediments of halophytes used for bioremediation of earthen shrimp ponds. *Environmental Microbiome*, 18(1), 58.
<https://doi.org/10.1186/s40793-023-00512-x>
- Dar, R. A., Dai, B., Tsui, T.-H., Zhang, X., Zhang, D., Zhou, P., Liu, R., & Zhang, L. (2025). Bioaugmentation with a lipid-degrading bacterial culture to enhance methane production from food waste anaerobic digestion: Effect on process performance, microbial dynamics, and lipid metabolism. *Chemical Engineering Journal*, 164539. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.164539>
- Dauda, A. B., Ajadi, A., Tola-Fabunmi, A. S., & Akinwale, A. O. (2019). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*, 4(3), 81-88.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>
- Deng, Y., Xu, X., Yin, X., Lu, H., Chen, G., Yu, J., & Ruan, Y. (2019). Effect of stock density on the microbial community in biofloc water and Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) gut microbiota. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(10), 4241-4252. <https://link-springer-com.ecups.idm.oclc.org/article/10.1007/s00253-019-09773-4>

- Di Costanzo, F., Di Dato, V., & Romano, G. (2023). Diatom–Bacteria Interactions in the Marine Environment: Complexity, Heterogeneity, and Potential for Biotechnological Applications. *Microorganisms*, *11*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122967>
- Dudink, R. D. (2022). *Feasible practices to enhance the sustainability of shrimp farming in Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad de Utrecht]. <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/43330>
- Espinosa, E. J., Rene, E., & Gerlach, R. (2022). Potential use of fungal-bacterial co-cultures for the removal of organic pollutants. *Critical Reviews in Biotechnology*, *42*(3), 361-383. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1940831>
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO. (2024). *Informe de la FAO: La producción pesquera y acuícola mundial alcanza un nivel sin precedentes*. Newsroom. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/es>
- Ferreira, M. G. P., Melo, F. P., Lima, J. P. V., Andrade, H. A., Severi, W., & Correia, E. S. (2017). Bioremediation and biocontrol of commercial probiotic in marine shrimp culture with biofloc. *Latin american journal of aquatic research*, *45*(1), 167-176. <http://dx.doi.org/10.3856/vol45-issue1-fulltext-16>
- García, J., García-Galán, M. J., Day, J. W., Boopathy, R., White, J. R., Wallace, S., & Hunter, R. G. (2020). A review of emerging organic contaminants (EOCs), antibiotic resistant bacteria (ARB), and antibiotic resistance genes (ARGs) in the environment: Increasing removal with wetlands and reducing environmental impacts. *Bioresource Technology*, *307*, 123228. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123228>

- Goh, J. X. H., Tan, L. T.-H., Law, J. W.-F., Khaw, K.-Y., Zengin, G., Chan, K. G., Letchumanan, V., Lee, L.-H., & Goh, B.-H. (2023). Probiotics: Comprehensive Exploration of the Growth Promotion Mechanisms in Shrimps. *Progress In Microbes & Molecular Biology*, 6(1), Article 1.
<https://doi.org/10.36877/pmmb.a0000324>
- Huang, H.-H., Luo, T., Lei, Y.-J., Kuang, W.-Q., Zou, W.-S., & Yang, P.-H. (2021). Water quality, shrimp growth performance and bacterial community in a reusing-water biofloc system for nursery of *Penaeus vananmei* rearing under a low salinity condition. *Aquaculture Reports*, 21, 100894.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100894>
- ICTIOTERM. (2025). *Penaeus vannamei* (nombre científico) / *Ictioterm.es*.
http://www.ictioterm.es/nombre_cientifico.php?nc=235
- Infobae. (2024). *Ecuador batió en 2023 récord de volumen de camarón exportado, pero su recaudación cayó 5 %*. infobae.
<https://www.infobae.com/america/agencias/2024/01/31/ecuador-batio-en-2023-record-de-volumen-de-camaron-exportado-pero-su-recaudacion-cayo-5/>
- insilico.ehu. (2022). *Uso de las cámaras de recuento (Neubauer improved o Thoma)*. Universitat Politècnica de València (UPV). http://insilico.ehu.es/camara_recuento/
- Ipsita, P., Panigrahi, A. K., & Datta, S. (2020). Influence of Nitrogen Cycle Bacteria on Nitrogen Mineralisation, Water Quality and Productivity of Freshwater Fish Pond: A Review. *Asian Fisheries Science*, 33(2), 1-16.
<https://doi.org/10.33997/j.afs.2020.33.2.006>
- Jiménez, J., Carvajal, H., & Vite, H. (2021). Análisis del pronóstico de las exportaciones del camarón en el Ecuador a partir del año 2019. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(1), 55-61. <https://www.redalyc.org/pdf/7217/721778108008.pdf>

- Kashem, A. H. M., Das, P., AbdulQuadir, M., Khan, S., Thaher, M. I., Alghasal, G., Hawari, A. H., & Al-Jabri, H. (2023). Microalgal bioremediation of brackish aquaculture wastewater. *Science of The Total Environment*, 873, 162384. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162384>
- Kaushal, S. S., Gold, A. J., Bernal, S., Johnson, T. A. N., Addy, K., Burgin, A., Burns, D. A., Coble, A. A., Hood, E., Lu, Y., Mayer, P., Minor, E. C., Schroth, A. W., Vidon, P., Wilson, H., Xenopoulos, M. A., Doody, T., Galella, J. G., Goodling, P., ... Belt, K. T. (2018). Watershed 'chemical cocktails': Forming novel elemental combinations in Anthropocene fresh waters. *Biogeochemistry*, 141(3), 281-305. <https://doi.org/10.1007/s10533-018-0502-6>
- Krasaesueb, N., Boonnorat, J., Maneeruttanarungroj, C., & Khetkorn, W. (2023). Highly effective reduction of phosphate and harmful bacterial community in shrimp wastewater using short-term biological treatment with immobilized engineering microalgae. *Journal of Environmental Management*, 325, 116452. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116452>
- Kulkarni, A., Krishnan, S., Anand, D., Kokkattunivarthil Uthaman, S., Otta, S. K., Karunasagar, I., & Kooloth Valappil, R. (2021). Immune responses and immunoprotection in crustaceans with special reference to shrimp. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 431-459. <https://doi.org/10.1111/raq.12482>
- Kumar, V., Roy, S., Meena, D. K., & Sarkar, U. K. (2016). Application of Probiotics in Shrimp Aquaculture: Importance, Mechanisms of Action, and Methods of Administration. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(4), 342-368. <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23308249.2016.1193841>
- Lami, R., Grimaud, R., Sanchez-Brosseau, S., Six, C., Thomas, F., West, N. J., Joux, F., & Urios, L. (2021). Marine Bacterial Models for Experimental Biology. En *Handbook*

of Marine Model Organisms in Experimental Biology. CRC Press.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003217503-1/marine-bacterial-models-experimental-biology-rapha%C3%ABl-lami-r%C3%A9gis-grimaud-sophie-sanchez-brosseau-christophe-six-fran%C3%A7ois-thomas-nyree-west-fabien-joux-laurent-urios>

- Lee, C., Kim, S., Shin, J., Kim, M.-G., Gunathilaka, B. E., Kim, S. H., Kim, J. E., Ji, S.-C., Han, J. E., & Lee, K.-J. (2021). Dietary supplementations of *Bacillus* probiotic improve digestibility, growth performance, innate immunity, and water ammonia level for Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture International*, 29(6), 2463-2475. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00760-z>
- Li, E., Xu, C., Wang, X., Wang, S., Zhao, Q., Zhang, M., Qin, J. G., & Chen, L. (2018). Gut Microbiota and its Modulation for Healthy Farming of Pacific White Shrimp *Penaeus vannamei*. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(3), 381-399. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1440530>
- Liu, X., He, X., Huang, G., Zhou, Y., & Lai, J. (2021). Bioremediation by the mullet *Mugil cephalus* feeding on organic deposits produced by intensive shrimp mariculture. *Aquaculture*, 541, 736674. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736674>
- Lukwambe, B., Zhao, L., Nicholaus, R., Yang, W., Zhu, J., & Zheng, Z. (2019). Bacterioplankton community in response to biological filters (clam, biofilm, and macrophytes) in an integrated aquaculture wastewater bioremediation system. *Environmental Pollution*, 254, 113035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113035>
- Maire, J., Philip, G. K., Livingston, J., Judd, L. M., Blackall, L. L., & van Oppen, M. J. H. (2023). Functional potential and evolutionary response to long-term heat selection

- of bacterial associates of coral photosymbionts. *mSystems*, 8(6), e00860-23.
<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/msystems.00860-23>
- Moreira, D., & Méndez, Y. (2024). *Caracterización de bacterias nativas con potencial probiótico en el cultivo de camarón (Penaeus vannamei) en Guayas, Ecuador*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/200ec291-3668-4788-b375-ec60a7204901/content>
- Mullungal, M. N., Peediyakkathodi, S., Bibi, S., Ratheesh Kumar, C. S., & Abu-Dieyeh, M. (2024). Nutrient Contamination in Marine Environment. En H. Alshemmari, M. Z. Hashmi, Y. N. Kavil, & W. Shu-hong (Eds.), *Contaminated Land and Water: Remediation and Management* (pp. 15-33). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-65129-8_2
- Mustafa, S., Estim, A., Shapawi, R., Shalehand, M. J., & Sidik, S. R. M. (2021). Technological applications and adaptations in aquaculture for progress towards sustainable development and seafood security. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 718(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/718/1/012041>
- Ndlela, L. L., Oberholster, P. J., Van Wyk, J. H., & Cheng, P. H. (2018). Bacteria as biological control agents of freshwater cyanobacteria: Is it feasible beyond the laboratory? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(23), 9911-9923.
<https://doi.org/10.1007/s00253-018-9391-9>
- Nguyen, L., Nguyen Thanh, T., Tran Thi Hong, T., Pham Van, D., Vo Thi Tuyet, M., Nguyen Trong, N., Phan Cong, M., Cao Ngoc, D., & Truong Quoc, P. (2021). Effects of Feed Mixed with Lactic Acid Bacteria and Carbon, Nitrogen, Phosphorus Supplied to the Water on the Growth and Survival Rate of White Leg

- Shrimp (*Penaeus vannamei*) Infected with Acute Hepatopancreatic Necrosis Disease Caused by *Vibrio parahaemolyticus*. *Biology*, 10(4), Article 4.
<https://www.mdpi.com/2079-7737/10/4/280>
- Oliveira, A. S., Alves, M., Leitão, F., Tacão, M., Henriques, I., Castro, P. M. L., & Amorim, C. L. (2023). Bioremediation of coastal aquaculture effluents spiked with florfenicol using microalgae-based granular sludge – a promising solution for recirculating aquaculture systems. *Water Research*, 233, 119733.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119733>
- Pang, Y., & Wang, J. (2021). Various electron donors for biological nitrate removal: A review. *Science of The Total Environment*, 794, 148699.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148699>
- Ramos, E. V., Delgado Espinosa, Z. Y., & Solis Pino, A. F. (2024). Use of Phosphorus-Solubilizing Microorganisms as a Biotechnological Alternative: A Review. *Microorganisms*, 12(8), Article 8.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms12081591>
- Ramzan, M. N., Shen, D., Wei, Y., Emmanuel, A., Nicholaus, R., Yang, W., & Zheng, Z. (2025). Nitrogen and phosphorus-related functional genes enhance nutrient removal in the integrated aquaculture wastewater bioremediation system in the presence of photosynthetic bacteria. *Aquaculture International*, 33(2), 1-17. <https://link-springer-com.ecups.idm.oclc.org/article/10.1007/s10499-024-01809-5>
- Raza, B., Zheng, Z., & Yang, W. (2024). A Review on Biofloc System Technology, History, Types, and Future Economical Perceptions in Aquaculture. *Animals*, 14(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/ani14101489>
- Reyes, A. J. (2021). *Principales agentes infecciosos asociados al cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei* reportados en Ecuador durante el periodo 2010-2021*

- [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena].
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6640>
- Sandhya, S. V., Sandeep, K. P., & Vijayan, K. K. (2020). In vivo evaluation of microbial cocktail of microalgae-associated bacteria in larval rearing from zoea I to mysis I of the Indian white shrimp, *Penaeus indicus*. *Journal of Applied Phycology*, 32(6), 3949-3954. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02230-0>
- Sandoval, S. S. (2024). *Análisis de flujos de nutrientes entre agua y sedimento en la laguna Monte Redondo de la Estación de Acuicultura Daniel E. Mayer en Zamorano* [Tesis de pregrado, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana].
<https://hdl.handle.net/11036/7974>
- Seethalakshmi, P. S., Rajeev, R., Kiran, G. S., & Selvin, J. (2021). Shrimp disease management for sustainable aquaculture: Innovations from nanotechnology and biotechnology. *Aquaculture International*, 29(4), 1591-1620.
<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00698-2>
- Silva, J., Canales, C., & Rodríguez Leal, S. (2021). Fitodepuración mixotrófica en sistemas de recirculación acuícola (RAS) para el manejo sustentable de nutrientes contaminantes. *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura*, 3(1), 37-54. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8272989>
- Soltani, M., Ghosh, Koushik, Hoseinifar, Seyed Hossein, Kumar, Vikash, Lymbery, Alan J., Roy, Suvra, & Ringø, E. (2019). Genus bacillus, promising probiotics in aquaculture: Aquatic animal origin, bio-active components, bioremediation and efficacy in fish and shellfish. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(3), 331-379. <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1597010>
- Strand, Ø., Jansen, H. M., Jiang, Z., & Robinson, S. M. C. (2019). Perspectives on Bivalves Providing Regulating Services in Integrated Multi-Trophic Aquaculture.

- En A. C. Smaal, J. G. Ferreira, J. Grant, J. K. Petersen, & Ø. Strand (Eds.), *Goods and Services of Marine Bivalves* (pp. 209-230). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-96776-9_11
- Tian, J., Ge, F., Zhang, D., Deng, S., & Liu, X. (2021). Roles of Phosphate Solubilizing Microorganisms from Managing Soil Phosphorus Deficiency to Mediating Biogeochemical P Cycle. *Biology*, *10*(2), Article 2.
<https://doi.org/10.3390/biology10020158>
- Tilliette, C., Gazeau, F., Portlock, G., Benavides, M., Bonnet, S., Guigue, C., Leblond, N., Lory, C., Marie, D., Montanes, M., Pulido-Villena, E., Sarthou, G., Tedetti, M., Vorrath, M.-E., Whitby, H., & Guieu, C. (2023). Influence of shallow hydrothermal fluid release on the functioning of phytoplankton communities. *Frontiers in Marine Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1082077>
- Velásquez, P. C., Solorzano, J. F., Ochoa, P. M., Solano, G. W., Quizhpe, P., & Guillen, R. M. (2023). Caracterización de la calidad del agua durante el cultivo del camarón *Penaeus vannamei* con agua dulce en el Sur del Ecuador. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, *10*(2), 74-87.
<https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2023.100200074>
- Wani, A. K., Akhtar, N., Sher, F., Navarrete, A. A., & Américo-Pinheiro, J. H. P. (2022). Microbial adaptation to different environmental conditions: Molecular perspective of evolved genetic and cellular systems. *Archives of Microbiology*, *204*(2), 144.
<https://doi.org/10.1007/s00203-022-02757-5>
- Wei, G., Shan, D., Li, G., Li, X., Tian, R., He, J., & Shao, Z. (2020). Prokaryotic communities vary with floc size in a biofloc-technology based aquaculture system. *Aquaculture*, *529*, 735632. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735632>

- Widiyanto, T., Rusmana, I., Febrianti, D., Shohihah, H., Triana, A., & Mardiaty, Y. (2020). Profiles of *Vibrio* and heterotrophic bacteria in the intensive Vanamae shrimp culture using bioremediation technique in Karawang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 535(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012019>
- Yan, W., & Zhong, C. (2022). The Coordination of Aquaculture Development with Environment and Resources: Based on Measurement of Provincial Eco-Efficiency in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), Article 13. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/13/8010>
- Yuan, F., Zhao, Y., Dai, Y., Yang, W., & Zhu, J. (2024). Effects of Biostimulation-Bioaugmentation on Coastal Microbial Community in an in situ Mesocosm System. *Journal of Ocean University of China*, 23(1), 233-246. <https://doi.org/10.1007/s11802-024-5692-z>
- Zhao, Y., Liu, Z., Zhang, B., Cai, J., Yao, X., Zhang, M., Deng, Y., & Hu, B. (2023). Inter-bacterial mutualism promoted by public goods in a system characterized by deterministic temperature variation. *Nature Communications*, 14(1), 5394. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41224-7>

ANEXOS



Anexo 1: Piscina seca.



Anexo 4: Proceso de transferencia de juveniles a piscina de engorde.



Anexo 2: Toma de muestra de suelo.



Anexo 5: Muestra de agua para fitoplancton y nutrientes.



Anexo 3: Llenado de piscina.



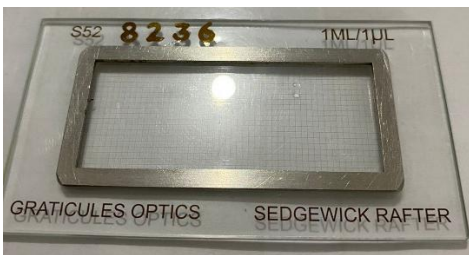
Anexo 6: análisis de nutrientes mediante fotometría.



Anexo 7: Cámara de Neubauer.



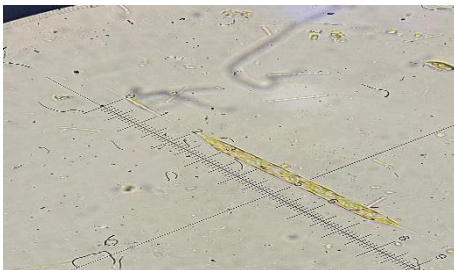
Anexo 11: Muestreo de población y peso.



Anexo 8: Cámara de Sedgewick Rafter.



Anexo 12: Recorrido de campo para seguimiento de pruebas.



Anexo 9: Conteo e identificación de fitoplancton.



Anexo 13: Proceso de cosecha.



Anexo 10: Muestreo de oxígeno.



Anexo 14: Piscina seca post cosecha.

Variable	MO I	NPI	MO F	NP F	NT	PT	NP	Diatomea	Cyanobacterias	Dinoflagelados	Chlorofitas	Euglenofitas	Rafidofitas	Criptofitas	Cell/ml	Sobrevivencia	Biomasa Ha	FCA	Crecimiento
MO I	0,27	0,142	0,016	0,099	0,289	0,194	0,02	-0,176	0,002	-0,221	-0,117	-0,193	0,235	-0,09	0,15	-0,527	0,516	0,022	0,12
NPI	0,208	0,26	0,228	-0,184	-0,159	-0,221	0,298	-0,17	0,197	-0,368	0,033	0,453	-0,07	-0,265	-0,17	-0,233	-0,223	-0,149	-0,021
MO F	0,292	0,021	-0,049	0,297	-0,062	-0,514	-0,06	-0,044	0,146	0,019	-0,269	-0,404	-0,393	0,2	0,107	-0,159	-0,162	-0,175	-0,061
NP F	-0,028	0,367	-0,451	-0,034	-0,271	-0,245	-0,056	-0,015	0,037	0,168	-0,008	0,062	0,532	0,065	0,168	-0,125	-0,055	0,105	-0,379
NT	-0,174	-0,297	0,323	0,26	-0,188	-0,005	-0,248	-0,168	0,506	0,228	0,012	0,125	0,256	-0,15	0,307	-0,152	-0,117	-0,012	0,204
PT	0,057	-0,362	0,118	0,371	-0,258	-0,068	0,458	0,133	-0,541	0,024	0,078	0,096	0,169	0,064	0,113	-0,234	-0,076	0,005	-0,013
NP	-0,244	0,205	0,017	-0,078	-0,061	0,147	0,474	-0,092	0,203	0,31	0,442	-0,388	-0,262	-0,129	0,085	-0,208	-0,022	0,084	-0,086
Diatomea	-0,291	0,041	-0,106	0,091	-0,046	0,04	-0,002	0,668	0,165	-0,308	-0,13	0,145	-0,258	-0,178	0,361	-0,125	0,141	0,034	-0,137
Cyanobacterias	0,288	0,069	-0,259	0,502	0,159	0,046	0,168	-0,088	0,271	-0,103	0,336	0,3	-0,096	0,187	0,086	0,315	0,089	0,283	0,065
Dinoflagelados	-0,17	-0,3	-0,02	-0,184	-0,153	-0,156	0,251	-0,121	0,23	-0,578	0,051	-0,373	0,276	0,164	0,062	0,277	0,094	0,014	-0,014
Chlorofitas	-0,292	0,022	0,064	0,267	0,478	-0,35	-0,154	0,187	-0,016	-0,143	0,318	-0,118	0,218	-0,114	-0,392	-0,186	-0,198	0,069	-0,025
Euglenofitas	0,292	-0,028	-0,222	0,156	-0,287	0,417	-0,206	0,078	-0,015	-0,239	0,051	-0,317	0,041	-0,385	-0,145	-0,027	-0,427	0,139	0,042
Rafidofitas	0,165	0,305	0,339	0,19	-0,254	-0,205	0,037	0,25	-0,021	0,141	0,025	-0,187	0,163	-0,353	-0,134	0,412	0,389	-0,068	0,088
Criptofitas	0,005	-0,369	-0,385	-0,013	0,261	-0,193	0,217	-0,187	0,022	0,171	-0,22	0,05	-0,034	-0,633	0,015	0,143	0,086	-0,053	-0,118
Cell/ml	0,272	0,137	0,154	-0,202	0,431	0,006	0,188	0,234	-0,025	0,064	-0,009	-0,102	0,25	-0,019	0,492	0,193	-0,423	-0,093	0,145
Sobrevivencia	0,238	-0,215	-0,044	-0,076	0,038	0,161	0,281	0,414	0,437	0,247	-0,215	0,004	0,192	0,221	-0,452	-0,134	0,02	-0,047	-0,064
Biomasa Ha	0,25	-0,193	0,41	-0,077	0,101	0,03	-0,143	-0,037	0,011	-0,012	0,077	-0,021	-0,06	-0,043	0,076	0,031	0,042	0,345	-0,744
FCA	-0,246	0,201	0,098	0,405	0,124	0,364	0,133	-0,187	0,029	-0,086	-0,239	-0,015	0,087	0,046	-0,045	0,173	-0,112	-0,51	-0,38
Crecimiento	-0,238	0,216	0,154	0,113	0,038	0	0,222	-0,118	-0,016	-0,001	-0,562	-0,037	0,003	0,002	-0,085	0,049	-0,158	0,652	0,135

Anexo 15: Resultado de Análisis de Componentes Principales.

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE COCTELES BACTERIANOS EN LA REDUCCIÓN DEL FÓSFORO Y SUS IMPACTOS COLATERALES EN GRANJAS DE CULTIVO DE *PENAEUS VANNAMEI* presentado por el estudiante, BLGO. CARLOS ALBERTO CORTEZ IPERTY fue enviado al Sistema Anti-plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 9%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.



TUTOR

Ac. Sonnya Mendoza Lombada, PhD.