



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

TÍTULO DE ENSAYO

**“EVALUACIÓN DE *BACILLUS SPP.*, CON TÉCNICA DE
DISPERSIÓN MEDIANTE EL USO DE ALIMENTADORES
AUTOMÁTICOS, PARA MINIMIZAR LA CARGA DE MATERIA
ORGÁNICA EN PRECRÍAS DE *LITOPENAEUS VANNAMEI*”.**

AUTOR

BLGO. BORIS ARNALDO ARROYO NAVARRETE

TRABAJO DE TITULACIÓN

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

TUTOR

PhD. JUAN VALENZUELA COBOS

SANTA ELENA, ECUADOR

Año 2025

AGRADECIMIENTO

Este trabajo es el resultado de un extenso viaje académico espiritual y personal en el cual se unieron muchas voluntades para serlo posible.

A Dios por permitirme llegar a este punto con fuerza salud y sabiduría.

A mis padres por enseñarme el amor a la naturaleza y su apoyo incondicional.

A los amigos que entre estanques, análisis, discusiones y risas hicieron que este proceso resulte mucho más humano, llevadero y sobre todo mostrar que se puede lograr algo importante cuando las voluntades se juntan.

A mi mujer que me animo a terminar la maestría cada vez que me voluntad flaqueaba.

A mi tutor de tesis por estar siempre atento y presto a dar consejos valiosos para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes han sido mi base durante este desafiante y bello camino.

A Dios, principio y fin de toda sabiduría, por ser la fuerza que guía mis pasos cada día, aquel faro en las noches de tormenta y aquella voz que siempre susurra que toda creatura tiene un lugar sagrado en la creación.

A mis padres por enseñarme que la ciencia también puede nacer del amor y que todo esfuerzo diario a la larga trae una gran recompensa.

A mi mujer mi gran compañera a esta aventura llamada vida, que está a mi lado aun en los momentos difíciles, sacándome una sonrisa.

A mis 3 hijos que anhelo puedan ver en mi todo lo bueno que la vida les pueda brindar.

A mis perros, nobles espíritus que siempre me acompañan con mirada sincera y amor sin condición.

CERTIFICADO 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 Boris Arnaldo Arroyo Navarrete, como requerimiento para la obtención del título de Magíster en Acuicultura.

Atentamente,

PhD. Juan Diego Valenzuela Cobos
TUTOR

TRIBUNAL DE GRADO

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

PhD. Juan Valenzuela Cobos.
TUTOR

MSc. Dennis Tomalá Solano.
DOCENTE ESPECIALISTA 1

MSc. Jimmy Villón Moreno.
DOCENTE ESPECIALISTA 2

Abg. María Rivera González, Mgt.
**SECRETARIA GENERAL
UPSE**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Boris Arnaldo Arroyo Navarrete

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación, “Evaluación de *Bacillus spp.* con técnica de dispersión mediante el uso de alimentadores automáticos, para minimizar la carga de materia orgánica en precrías de *Litopenaeus 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 junio del año 2025.

Boris Arnaldo Arroyo Navarrete.
AUTOR

AUTORIZACIÓN DERECHOS DE AUTOR

Yo, Boris Arnaldo Arroyo Navarrete

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 junio del año 2025.

Boris Arnaldo Arroyo Navarrete.

AUTOR

INDICE GENERAL

| | |
|---|------------|
| TRIBUNAL DE GRADO..... | I |
| CERTIFICADO DEL TUTOR..... | III |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD..... | V |
| AUTORIZACIÓN DERECHOS DE AUTOR..... | VI |
| CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO..... | 53 |
| AGRADECIMIENTO..... | I |
| DEDICATORIA..... | II |
| INDICE GENERAL..... | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | IX |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | IX |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| PROBLEMÁTICA..... | 6 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 7 |
| OBJETIVOS..... | 8 |
| Objetivo General..... | 8 |
| Objetivos Específicos..... | 8 |
| HIPÓTESIS..... | 9 |
| MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL..... | 10 |
| Antecedentes..... | 10 |
| Parámetros químicos analizados..... | 11 |
| Fundamentos teóricos de la estadística..... | 14 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 18 |

| | |
|---|-----------|
| Diseño de la Investigación..... | 18 |
| Tipo de Investigación..... | 19 |
| Diseño de Muestreo | 19 |
| Descripción del Lugar de Estudio | 19 |
| Diseño del Experimento | 19 |
| Técnicas e Instrumentos de la Investigación | 21 |
| Procedimientos de Muestreo y Análisis:..... | 21 |
| Precauciones y Consideraciones | 28 |
| Análisis Estadístico de Datos..... | 28 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 30 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | 40 |
| REFERENCIAS | 42 |
| ANEXOS | 49 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Materia Orgánica obtenida | 31 |
| Tabla 2. Data para Análisis de PCA, variables y tratamientos..... | 32 |
| Tabla 3. Cargas factoriales asociada con cada componente principal..... | 34 |
| Tabla 4. Prueba de normalidad de las variables analizadas..... | 35 |
| Tabla 5. Porcentaje de supervivencia registrado por tratamiento..... | 38 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Registro de materia orgánica obtenida, azul; valores de materia orgánica con acumulación negativa, naranja; valores de materia orgánica con acumulación positiva | 31 |
| Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables analizadas y su correlación con los tratamientos realizados | 33 |
| Figura 3. Correlación de Pearson; data paramétrica..... | 37 |
| Figura 4. Supervivencia registrada por tratamiento realizado..... | 38 |

RESUMEN

El cultivo de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) ha sido una industria fundamental para la economía ecuatoriana, posicionando al país como líder en exportación acuícola. El manejo inicial de la producción es clave, especialmente en la alimentación, ya que requieren una alta cantidad de nutrientes para su desarrollo. Tradicionalmente, se han empleado alimentos vivos como microalgas y artemia, que han impulsado el crecimiento industrial, pero también ha generado problemas ambientales, como la acumulación de materia orgánica y sulfuros sedimentados. Los alimentadores automáticos han optimizado esta producción, mejorando el crecimiento del camarón, la conversión alimenticia y la rentabilidad del cultivo. No obstante, provocan acumulaciones focalizadas de materia orgánica, afectando la calidad del agua y del sustrato. Para mitigar estos impactos, la combinación de alimentadores automáticos con bacterias *Bacillus spp.* se presenta como una estrategia innovadora para reducir esta materia orgánica en estanques de gran escala. Esta investigación se desarrolló en Isla Verde, Golfo de Guayaquil - Ecuador, donde evaluó el efecto de *Bacillus spp.* mediante tres tratamientos; administración automatizada, manual y un grupo de control, midiendo parámetros fisicoquímicos y el crecimiento del camarón durante 15 días, usando análisis de componentes principales (PCA) con el programa PAST 4.13 para determinar su impacto en biorremediación e identificar su relación entre sí. El estudio confirmó que la reducción de materia orgánica es clave para la estabilidad química y salud de las larvas de *Penaeus vannamei*. La inclusión de *Bacillus spp.* con alimentadores automáticos mejoró las condiciones ambientales en un 40,62% y aumentó la supervivencia larval con un diferencial de 15% entre tratamientos. Se recomienda integrar probióticos en la acuicultura, establecer protocolos de monitoreo químico y estandarizar su aplicación. Además, de complementar con biofloculación o sistemas de recirculación para maximizar la eficiencia en la remoción de materia orgánica, promoviendo un cultivo más sostenible y productivo.

Palabras clave: *Bacillus sp.*, Eutrofización, Alimentadores automáticos, Sedimentación, Materia Orgánica.

ABSTRACT

White shrimp (*Penaeus vannamei*) farming has been a fundamental industry for the Ecuadorian economy, positioning the country as a leader in aquaculture exports. The initial management of production is key, especially in feeding since they require a high amount of nutrients for their development. Traditionally, live feeds such as microalgae and artemia have been used, which have boosted industrial growth, but have also generated environmental problems, such as the accumulation of organic matter and sedimented sulfides. Automatic feeders have optimized this production, improving shrimp growth, feeding conversion and culture profitability. However, they cause focused accumulations of organic matter, affecting water and substrate quality. To mitigate these impacts, the combination of automatic feeders with *Bacillus spp.* bacteria is presented as an innovative strategy to reduce this organic matter in large-scale ponds. This research was developed in Isla Verde, Gulf of Guayaquil - Ecuador, where it evaluated the effect of *Bacillus spp.* through three treatments; automated administration, manual and a control group, measuring physicochemical parameters and shrimp growth for 15 days, using principal component analysis (PCA) with the PAST 4.13 program to determine their impact on bioremediation and identify their relationship with each other. The study confirmed that organic matter reduction is key to the chemical stability and health of *Penaeus vannamei* larvae. The inclusion of *Bacillus spp.* with automatic feeders improved environmental conditions by 40.62% and increased larval survival with a 15% differential between treatments. It is recommended to integrate probiotics in aquaculture, establish chemical monitoring protocols and standardize their application. In addition, it is suggested to complement with biofloculation or recirculation systems to maximize efficiency in the removal of organic matter, promoting a more sustainable and productive culture.

Keywords: *Bacillus sp.*, Eutrophication, Automatic feeders, Sedimentation, Organic Composition.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la acuicultura se ha consolidado como una industria esencial para la población a nivel global, aportando aproximadamente el 50% del suministro de alimentos de origen acuáticos. Este logro es atribuible a los avances tecnológicos, industriales y científicos que giran en torno a la producción controlada de especies cultivadas, destacando los crustáceos por su alto valor comercial y demanda constante (FAO, 2020).

El cultivo del camarón blanco (*Penaeus vannamei*) inició en la década de 1960, experimentando un crecimiento notable en los años 80 en países tropicales, y ha mostrado un incremento exponencial desde entonces, según la Cámara Nacional de Acuicultura (2019). En 2020, la producción nacional de camarón alcanzó las 570,000 toneladas métricas, representando un aumento del 9.2% en comparación con el período 2015-2020 (Domínguez, 2020; Jiménez-Novillo *et al.*, 2021). Esto consolidó al país como líder en la provisión de camarón de cultivo en el Hemisferio Occidental, con exportaciones a mercados clave como la Unión Europea, Asia y Norteamérica (FEE, 2020). Esta industria, entre otras, es vital para la economía nacional, ya que sustenta a aproximadamente 180,000 personas en diversas regiones remotas, contribuyendo significativamente al empleo (Domínguez, 2020; Bolaños *et al.*, 2020).

El cultivo de *P. vannamei* requiere una gestión meticulosa en sus etapas iniciales, siendo la alimentación una fase crucial debido a la alta demanda de nutrientes esenciales para su correcto desarrollo morfológico y fisiológico. El uso de alimentos vivos como microalgas, artemia, rotíferos y copépodos ha sido ampliamente practicado en esta fase inicial, gracias a su alta biodisponibilidad y capacidad para estimular el consumo natural (Sánchez-Estudillo, 2011). Al empezar a tecnificarse los cultivos de camarón vieron la necesidad de implementar un alimento suplementario que tuviera un alto nivel de proteínas (Fan *et al.*, 2021). Aunque ayudó a que la industria obtenga un mayor crecimiento en corto tiempo, trajeron graves

consecuencias medioambientales como por ejemplo ante el incremento en el consumo alimenticio, subproductos no digeridos y restos biológicos precipitados al fondo de los estanques propiciaron una mala calidad de suelo por la presencia de sulfuros y materia orgánica elevada que repercutió en la calidad y salud del camarón (Hermsen, 2020). Las actividades de cultivo de camarón también pueden impactar en la acumulación de carbono y nutrientes en los ecosistemas costeros, con mayores proporciones de materia orgánica derivada de algas observadas cerca de las granjas camaroneras aumentando los riesgos de eutrofización si las relaciones distribucionales entre el fósforo (P), carbono orgánico (OC) y materia orgánica (OM) no son adecuados (Bhakta *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2020).

El exceso de materia orgánica también puede estar relacionado con la adición continua de piensos artificiales, pesticidas y aditivos químicos que mantienen la superpoblación en sistemas intensivos (Thirumalai *et al.*, 2018). Estos problemas no solo afectan a los estanques, sino también a las aguas circundantes, resaltando la necesidad de nuevas tecnologías de tratamiento de desechos antes de su vertido (Susetyaningsih *et al.*, 2020).

Los alimentadores automáticos han demostrado mejorar significativamente la producción de camarón blanco (*Penaeus vannamei*) (Srivastava & Kumar, 2022). Estos optimizan el uso del alimento, incrementan el crecimiento del camarón, el porcentaje de libras camarón por hectárea y mejoran los factores de conversión alimenticia, generando mayores rendimientos económicos (Manjusha *et al.*, 2023). Sin embargo, también generan acumulaciones localizadas de materia orgánica en las áreas donde se alimenta a los animales, lo que puede derivar en problemas de toxicidad.

Para resolver estos problemas, han surgido innovaciones como la incorporación de *Bacillus spp.* en pastillas que se integran directamente en las tolvas de los alimentadores

automáticos. Estas pastillas se dispersan junto con el alimento, permitiendo una aplicación localizada en las áreas más críticas de los estanques (Luo *et al.*, 2024).

Las bacterias del género *Bacillus*, específicamente *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus macquariensis*, *Bacillus brevis*, y *Bacillus circulans* son reconocidas como herramientas de biorremediación, capaces de descomponer materia orgánica mediante la producción de enzimas como amilasa, gelatinasa, lipasa y celulasa, que ayudan a descomponer la materia orgánica (Rana-Chhetri *et al.*, 2022). Sin embargo, su implementación en estanques de gran tamaño presenta desafíos logísticos y biológicos, especialmente en la distribución uniforme y en la efectividad operativa (Hou *et al.*, 2021).

El uso combinado de alimentadores automáticos con bacterias *Bacillus spp.* representa un enfoque altamente dinámico para la reducción de materia orgánica en estanques camaroneros de gran escala. Esta combinación permite dirigir los tratamientos hacia los puntos más problemáticos, donde la acumulación de desechos es mayor, y facilita un tratamiento in situ de las acumulaciones significativas de materia orgánica (Anggraini *et al.*, 2019; Hou *et al.*, 2021).

En este sentido, esta investigación busca evaluar la efectividad de esta estrategia en la mejora de la calidad del suelo y la reducción de desechos orgánicos al final del ciclo productivo, ofreciendo soluciones sostenibles tanto desde el punto de vista económico como ambiental para la industria camaronera intensiva.

PROBLEMÁTICA

La intensificación de los cultivos de camarón ha llevado a la implementación de alimentos suplementarios con altos niveles de proteínas para acelerar el crecimiento y aumentar la producción. Aunque esta práctica ha sido beneficiosa económicamente, ha generado consecuencias ambientales significativas. El incremento en el consumo de alimento rico en proteínas provoca la acumulación de subproductos no digeridos, nutrientes sobresaturados y restos biológicos en el fondo de los estanques, lo que deteriora la calidad del suelo debido a la presencia de sulfuros y provocan altos niveles de materia orgánica sedimentada (Susetyaningsih *et al.*, 2020). Esta situación afecta negativamente la salud y calidad del camarón cultivado.

Las actividades de cultivo de camarón, en el mismo sentido, pueden impactar en la acumulación de carbono y nutrientes en los ecosistemas costeros, especialmente al final del ciclo de cultivo (Pérez *et al.*, 2020). Se ha observado una mayor proporción de materia orgánica derivada de algas cerca de las granjas camaroneras, lo que aumenta el riesgo de eutrofización si las relaciones entre fósforo (P), carbono orgánico (OC) y materia orgánica (OM) no son adecuadas así como las proliferaciones de algas nocivas, afectando tanto a los organismos silvestres como a los cultivados (Bhakta *et al.*, 2016).

Además, el exceso de materia orgánica también puede estar relacionado con la adición continua de piensos artificiales, pesticidas y aditivos químicos utilizados para mantener la superpoblación en sistemas intensivos. Estos problemas no solo afectan a los estanques, sino también a las aguas circundantes, resaltando la necesidad de nuevas tecnologías de tratamiento de desechos antes de su vertido.

JUSTIFICACIÓN

Las bacterias del género *Bacillus* son reconocidas como herramientas de biorremediación, capaces de descomponer materia orgánica mediante la producción de enzimas como amilasa, gelatinasa, lipasa y celulasa, cumplen un papel importante en la biorremediación y son consideradas los microorganismos de mejor eficiencia en la transformación de materia orgánica a CO₂ (Kumar *et al.*, 2021). La biología propia de estos agentes microbianos permite usar la materia orgánica como fuente de carbono para su desarrollo y esto ayudará a controlar la carga orgánica en los estanques de cultivo (Rana-Chhetri *et al.*, 2022, Hu *et al.*, 2023). Sin embargo, su implementación en estanques de gran tamaño presenta desafíos logísticos y biológicos, especialmente en la distribución uniforme y en la efectividad operativa.

El uso combinado de alimentadores automáticos con bacterias *Bacillus spp.* representa un enfoque dinámico para la reducción de materia orgánica en estos estanques camaroneros de gran escala. Esta combinación permite dirigir los tratamientos hacia los puntos más problemáticos, donde la acumulación de desechos es mayor, y facilita un tratamiento in situ de las acumulaciones significativas de materia orgánica.

Así, esta investigación buscó evaluar cuan efectiva resulta la estrategia de incorporación de bacterias del género *Bacillus* en pastillas que se integran directamente en las tolvas de los alimentadores automáticos permitiendo una aplicación localizada en las áreas más críticas de los estanques y la mejora de la calidad del suelo y la reducción de desechos orgánicos al final del ciclo productivo, ofreciendo soluciones sostenibles tanto desde el punto de vista económico como ambiental para la industria camaronera intensiva.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de *Bacillus spp.* dispersado mediante el uso de alimentadores automáticos en la reducción de la carga de materia orgánica en precrías de *Penaeus vannamei*.

Objetivos Específicos

- Determinar la reducción de materia orgánica en precrías de *Penaeus vannamei* utilizando tres tratamientos: *Bacillus spp.* con alimentador automático, *Bacillus spp.* distribuido al boleó, y un grupo control sin tratamiento.
- Analizar los parámetros químicos relacionados con la calidad del agua, como sulfuro (H_2S), amoníaco no ionizado (NH_3), y nitritos (NO_2^-), en los diferentes tratamientos de biorremediación en los estanques de cultivo.
- Comparar el rendimiento productivo en términos de supervivencia en cada uno de los tres tratamientos aplicados en las precrías de *P. vannamei*.

HIPÓTESIS

Hipótesis aceptada

El uso de bacterias del género *Bacillus spp.* en combinación con alimentadores automáticos, reduce al menos un 40% de la carga material orgánica en los sedimentos de las precrías de *Penaeus vannamei*, en comparación con el grupo control sin tratamiento, tratados bajo condiciones de cultivo intensivo durante un ciclo de 15 días.

Variable independiente

El uso de la Bacterias *Bacillus spp.* y la utilización de alimentadores automáticos.

Variable dependiente

Optimización de la degradación de la materia orgánica en precrías de *Penaeus vannamei*.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

ANTECEDENTES

El camarón blanco (*Penaeus vannamei*) se encuentra entre las especies más cultivadas de camarón a nivel mundial. Ecuador destaca como uno de los mayores productores y exportadores globales, con una producción mayoritariamente dirigida a satisfacer la creciente demanda internacional. La preferencia por el camarón ecuatoriano radica en su alta calidad, que incluye características como su textura, sabor y capacidad para adaptarse a los estándares del mercado (Jiménez-Novillo *et al.*, 2021). En el período 2000-2019, esta actividad representó el segundo mayor factor en el crecimiento económico del país, consolidándose como una de las principales exportaciones primarias (Alvarado *et al.*, 2020).

Este cultivo controlado, definido como acuicultura cuando es cerrado y maricultura cuando es desarrollado en ambientes marinos abiertos, abarca no solo el manejo de camarones sino desde plantas hasta peces pues pretende recrear un ecosistema donde se magnifiquen aquellas condiciones benefactoras del ente principal de producción (Socorrás & Sánchez, 2019). Su relevancia global radica en la provisión de proteínas marinas frente a una demanda alimentaria en constante aumento, siendo además una solución para mitigar problemas como la sobreexplotación pesquera. Asimismo, fomenta la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental al equilibrar los ecosistemas marinos mediante prácticas responsables (Martínez & Torres, 2021).

Además de su impacto ambiental, la acuicultura ha promovido el desarrollo socioeconómico en comunidades costeras y rurales, generando empleo en todas las fases del proceso productivo y fortaleciendo su resiliencia económica frente a las fluctuaciones de los mercados agrícolas y pesqueros. Esta diversificación ha contribuido al equilibrio y sostenibilidad del desarrollo local (Berger, 2020).

La producción de camarones juveniles de alta calidad inicia con la selección de reproductores que posean características genéticas y de salud óptimas. Los huevos generados se someten a condiciones controladas de temperatura y salinidad durante la incubación, asegurando un desarrollo adecuado (López-Torres, 2024). Durante esta fase, las larvas reciben una dieta enriquecida a base de fitoplancton y zooplancton, mientras se monitorean rigurosamente los parámetros de calidad del agua para garantizar un entorno idóneo.

Conforme las larvas alcanzan el tamaño adecuado, son transferidas a tanques de mayor capacidad y, una vez que logran la etapa post-larval, están listas para ser introducidas en estanques de cultivo comercial. Este proceso, que combina conocimientos técnicos avanzados y supervisión continua, es esencial para el éxito de la producción, sentando las bases para el desarrollo sostenible de la industria camaronera. La adecuada crianza de larvas no solo mejora la supervivencia de los camarones, sino que también optimiza su crecimiento y resistencia, elementos clave para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad del sector (López-Torres, 2024).

Por otro lado, un elemento esencial para la acuicultura de camarones es el manejo de la calidad del agua. Parámetros como el pH, el oxígeno disuelto y la química del agua, son fundamentales para garantizar el crecimiento saludable de los camarones y la sostenibilidad del sistema de cultivo (García *et al.*, 2018). Una gestión adecuada de estos factores minimiza el estrés de los organismos y reduce los riesgos de enfermedades, optimizando la producción (FAO, 2024).

Parámetros químicos analizados

Alcalinidad

La alcalinidad del agua depende de la concentración de iones carbonato y bicarbonato, mientras que la dureza está relacionada con los iones de calcio y magnesio. Signos visibles de alta concentración de sales incluyen la formación de sarro en los bordes de los estanques, lo

cual se acentúa durante la sequía por la evaporación. En cultivos de *Penaeus vannamei*, la alcalinidad debe mantenerse por encima de 80 mg/L de CaCO₃ para evitar fluctuaciones de pH que puedan causar estrés, crecimiento deficiente o mortalidad (Limsuwan, 2005; Ching, 2007). Los niveles óptimos de alcalinidad varían entre 90 y 140 mg/L CaCO₃ según distintos autores, mientras que la dureza adecuada para el cultivo oscila entre 80 y 200 mg/L (Clifford, 1994; SENASICA, 2003; Ching, 2007).

Nitritos y Nitratos

Los nitritos y nitratos se generan por la degradación de proteínas provenientes de materia orgánica en estanques, incluidos desechos de camarones y alimento. Este proceso ocurre en pocas horas (Hernández-Gurrola, 2016). Aproximadamente el 26% del nitrógeno de las heces se lixivia como urea, siendo rápidamente utilizada por la comunidad microbiana, mientras que el 23% del nitrógeno orgánico del alimento, principalmente aminas primarias, es menos biodisponible y tiende a acumularse en el agua (Burford y Williams, 2001; Hernández-Gurrola, 2016). Estos compuestos, que se acumulan en el fondo y el lodo del estanque, contribuyen a la reducción de los niveles de oxígeno, afectando directamente la calidad del agua. Respecto a su toxicidad, se considera que niveles de nitratos entre 0.4 y 0.8 mg/L son seguros; sin embargo, valores superiores a 0.8 mg/L resultan tóxicos (Clifford, 1994). En el caso de los nitritos, SENASICA (2003) señala que concentraciones mayores a 0.1 mg/L son perjudiciales para los organismos acuáticos. No obstante, otros estudios han identificado umbrales de toxicidad variables: Hirono (1983) detectó efectos adversos a partir de 3.0 mg/L, mientras que Clifford (1994) estableció un nivel crítico en 1.0 mg/L. Por otra parte, Lee y Wickings (1992) encontraron toxicidad incluso en concentraciones tan bajas como 0.25 mg/L.

pH

El pH indica la concentración de iones hidrógeno (H^+) en el agua, indicando su nivel de acidez o basicidad. En este sentido, valores entre 0 y 7 se consideran ácidos, mientras que un pH de 7 señala neutralidad, y entre 7 y 14 se clasifica como básico. Además, la acidez y la alcalinidad influyen en la capacidad del agua para neutralizar bases y ácidos fuertes, respectivamente (Hernández-Gurrola, 2016). Respecto al crecimiento del camarón, el rango óptimo de pH varía según diferentes investigaciones: entre 6 y 9 según Guerrero-Olazarán *et al.*, (2004), de 8.1 a 9.0 según Clifford (1994), y entre 7.8 y 8.3 según SENASICA (2003). Por otro lado, se observa que el pH de los estanques tiende a ser más bajo por la mañana, lo que se atribuye a la actividad fotosintética del fitoplancton, aunque la alcalinidad contribuye a moderar estas variaciones. Finalmente, niveles de pH fuera del intervalo óptimo afectan de manera significativa el metabolismo del camarón: un pH inferior a 4 resulta letal, mientras que valores entre 4 y 6 inhiben su crecimiento y reproducción, y un pH superior a 11 también puede ser mortal (Boyd, 2001).

Amonio y Amoniaco

El amonio, en concentraciones superiores a 0.1 mg/L, es un indicador claro de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. Esta acumulación, junto con nitritos y nitratos, no solo deteriora la calidad del agua, sino que también resulta tóxica para la biota acuática, especialmente en condiciones de pH y temperatura elevados (Frías-Espericueta y Páez-Osuna, 2001). En particular, cuando los niveles de nitrógeno amoniacal total superan los 3-4 mg/L y el pH es mayor a 8.5, el amonio se torna letal para los camarones (Boyd, 2001). Cabe destacar que, entre las formas químicas del nitrógeno amoniacal, el amoníaco (NH_3) es significativamente más tóxico que el amonio ionizado (NH_4^+). Además, concentraciones elevadas de NH_3 y nitritos (NO_2) provocan la reducción del apetito y aumentan la mortalidad en los estanques (Chen-Chu *et al.*, 1990; Hernández-Gurrola, 2016). Por esta razón, los rangos

óptimos de NH₃ para el cultivo de camarón son estrictos, siendo <0.1 mg/L según Clifford (1994) y Hirono (1983), 0.09-0.11 mg/L según Lee y Wickings (1992), y <0.12 mg/L según SENASICA (2003).

Fundamentos teóricos de la estadística

El uso de técnicas estadísticas adecuadas es fundamental para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados. A continuación, se describen los fundamentos teóricos de los métodos estadísticos más empleados en estudios experimentales en acuicultura.

Análisis descriptivo

Es una herramienta estadística que permite resumir y caracterizar conjuntos de datos mediante medidas de tendencia central y la variabilidad entre los datos (medidas de dispersión).

Las medidas incluyen:

- **Media aritmética:** Suma de todos los valores dividida por el número total de observaciones.
- **Mediana:** Valor que divide el conjunto de datos en dos partes iguales.
- **Moda:** Valor que aparece con mayor frecuencia en el conjunto de datos.
- **Varianza:** Promedio de las desviaciones al cuadrado respecto a la media.
- **Desviación estándar:** Raíz cuadrada de la varianza, indicando la dispersión promedio alrededor de la media.
- **Rango:** Diferencia entre el valor máximo y mínimo del conjunto de datos.

Según Peña, S. (2017) este tipo de análisis es esencial para comprender la distribución y el comportamiento de las variables a estudiar porque proporciona una base sólida para los análisis posteriores.

Análisis de Componentes Principales (PCA)

El análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) es una técnica de reducción de dimensionalidad que transforma un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto menor de variables no correlacionadas, llamadas componentes principales.

Matemáticamente, el PCA se basa en la descomposición en valores y vectores propios de la matriz de covarianza o correlación de los datos. Los pasos clave incluyen:

1. **Estandarización de los datos:** Ajustar las variables para que tengan media cero y desviación estándar uno.
2. **Cálculo de la matriz de covarianza o correlación:** Dependiendo de si las variables están en diferentes escalas o no.
3. **Obtención de valores y vectores propios:** Identificar los valores propios (λ) y vectores propios (v) de la matriz calculada.
4. **Selección de componentes principales:** Elegir los componentes con mayores valores propios, que explican la mayor parte de la varianza.
5. **Transformación de los datos:** Proyectar los datos originales en el nuevo espacio de componentes principales.

El PCA es especialmente útil en estudios exploratorios, permite identificar patrones y relaciones entre variables, simplificando la interpretación de datos complejos (Ávila & García, 2015; García et al., 2018).

Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilk

La prueba de Shapiro-Wilk evalúa si un conjunto de datos sigue una distribución normal. Compara la distribución observada con una distribución teórica normal, calculando un estadístico W y un valor p. Si el valor p es mayor que el nivel de significancia establecido (generalmente $P=0.05$), se asume que los datos siguen una distribución normal.

Esta prueba es especialmente útil para muestras pequeñas y de forma complementaria, los gráficos de normalidad que usualmente los acompañan (Normality plots) permiten visualizar desviaciones de la normalidad, lo que facilita la interpretación de los resultados (Tapia & Cevallos, 2021; Porras, 2006).

Correlación: Pearson y Spearman

La correlación es una medida estadística que evalúa la relación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación de Pearson se utiliza cuando los datos cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, y mide la fuerza y dirección de una relación lineal entre dos variables continuas. Su fórmula es:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Este coeficiente asume que las variables están normalmente distribuidas y que la relación es lineal.

Por otro lado, el coeficiente de correlación de Spearman es una alternativa no paramétrica que se aplica cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad. Este método se basa en el rango de los datos y es adecuado para relaciones monotónicas (no necesariamente lineales). Su fórmula es:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde d_i es la diferencia entre los rangos de cada par de observaciones y n es el número de observaciones.

Este coeficiente es adecuado cuando los datos no cumplen con los supuestos de normalidad o cuando la relación no es lineal

Ambos coeficientes varían entre -1 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una correlación positiva fuerte, valores cercanos a -1 indican una correlación negativa fuerte, y valores cercanos a 0 indican ausencia de correlación (Bustamante & Mendoza, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de esta investigación se orienta hacia la evaluación de la aplicación de *Bacillus spp.* como tratamiento biológico para la reducción de materia orgánica en sistemas acuícolas de precría de *Penaeus vannamei*. Tres grupos experimentales fueron definidos: el Tratamiento A, administración automatizada de *Bacillus spp.* a través de alimentadores automáticos, el Tratamiento B, probiótico distribuido manualmente en las piscinas de producción y el Tratamiento C actuando como grupo control, sin intervención de *Bacillus spp.* Ambos tratamientos experimentales tienen como objetivo observar el impacto en la reducción de compuestos tóxicos como amoníaco y nitritos, los cuales son cruciales para la salud del ecosistema acuático. Los tratamientos se administrarán durante un ciclo de 15 días, con un intervalo semanal para evaluar su efectividad en la biorremediación del suelo.

El diseño del muestreo se contempla en una metodología de medición continua, donde se registrarán variables físicas y químicas del agua como el pH, la concentración de oxígeno disuelto y los niveles de materia orgánica. Estos parámetros se correlacionarán con los rendimientos de crecimiento y la biomasa de los camarones para determinar el impacto directo de cada tratamiento en la productividad. Además, se analizarán las características fisicoquímicas del agua para identificar la eficacia de *Bacillus spp.* en el control de patógenos y la mejora de las condiciones de cultivo en comparación con el grupo control. Los resultados obtenidos permitirán recomendar prácticas sostenibles en acuicultura para la optimización de los recursos comerciales y la salud en el crecimiento y desarrollo de camarón.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación es mixto, ya que incorpora el análisis cualitativo y cuantitativo de los efectos de diferentes dosis y composiciones alimenticias en piscinas de camarón. Es una investigación descriptiva correlacional, pues su objetivo es comprender y explicar la relación entre las variaciones en la alimentación y el desempeño de la producción. El estudio es longitudinal, dado que se evaluarán los cambios en la producción a lo largo de todo el ciclo de cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. Además, es de tipo experimental, puesto que se establecerán diferentes tratamientos en las piscinas, lo que requiere un diseño controlado de equipos y materiales. Este diseño experimental es adecuado para cumplir los objetivos planteados, al proporcionar resultados estadísticamente confiables sobre la relación entre la alimentación y el rendimiento en la producción del camarón mediante comparaciones y análisis estadísticos.

DISEÑO DE MUESTREO

Descripción del Lugar de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Isla Verde, situada en el Golfo de Guayaquil, en la costa suroeste de Ecuador. Esta isla es conocida por su entorno favorable para la acuicultura debido a sus condiciones geográficas y climáticas óptimas para el cultivo de camarón blanco (*Penaeus vannamei*). El Golfo de Guayaquil, la mayor cuenca hidrográfica del país proporciona aguas con características adecuadas de temperatura, salinidad y nutrientes que favorecen el crecimiento de especies acuícolas (Van Den Hende *et al.*, 2016).

Diseño del Experimento

Se utilizaron seis estanques de precría de una hectárea cada uno (10,000 m²), con un volumen promedio de 5,000 m³ y una profundidad de 1 metro. Cada estanque fue sembrado con

1,450,000 larvas de *P. vannamei*, asegurando una densidad uniforme en todas las unidades experimentales. Se utilizaron probióticos en forma de pastillas con una concentración de 1×10^9 UFC/g, las cuales se mezclaron con 100 kg de alimento seco por estanque.

Tratamiento A (Encapsulado con Alimentadores Automáticos)

Dos estanques fueron tratados con *Bacillus spp.* encapsulado, administrado y distribuido longitudinalmente mediante 6 alimentadores automáticos JET feeder por estanque, con un radio de acción de 10 a 12 metros, dependiendo del tamaño del pellet (1,2–1,6 mm). Cada alimentador fue programado para dispensar 50 gramos de *Bacillus spp.* por aplicación, resultando en una dosis inicial de 300 gramos de probiótico por estanque por aplicación. El uso de alimentadores automáticos asegura una dispersión homogénea del probiótico, optimizando su contacto con la materia orgánica presente y reduciendo su acumulación en los estanques (Luo *et al.*, 2024).

Tratamiento B (Aplicación al Boleo)

Dos estanques de precría recibieron *Bacillus spp.* mediante aplicación al boleó, es decir, dispersión manual en patrón zigzag del probiótico sobre la superficie del agua. Este método es menos preciso que el uso de alimentadores automáticos debido a condiciones ambientales y humanas (viento y pericia del operador) y puede resultar en una distribución dispar o menos uniforme del probiótico (Yang *et al.*, 2021). La dosis utilizada fue equivalente a la del Tratamiento A (300 gramos por estanque).

Tratamiento C (Control, Sin Tratamiento)

Dos estanques se utilizaron como control y no recibieron tratamiento de *Bacillus spp.* Para comparar los efectos de los tratamientos probióticos sobre la calidad del agua y la materia orgánica.

Implementación del Tratamiento

El tratamiento con *Bacillus spp.* encapsulado se inició desde el momento en que se estableció la alimentación con los alimentadores automáticos, estas pastillas no requirieron activación previa ni dilución, lo que facilitó su preparación y uso. Cada estanque recibió 4 sacos de alimento (25 kg c/u), cubriendo un ciclo de 15 días, dos aplicaciones del tratamiento durante el ciclo de precría, espaciadas a intervalos de una semana para mantener una concentración óptima de probiótico en el agua. La dosis final fue de 0,3 g/m², equivalente a 0,06 mg/L, considerando el volumen promedio de la piscina. Este intervalo de aplicación está respaldado por estudios que indican que la eficacia del probiótico *Bacillus spp.* en la degradación de materia orgánica y control de patógenos es mayor cuando se mantiene una concentración estable en el ambiente acuático (Gao *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2021).

Modificación del tratamiento

Inicialmente, la distribución de los probióticos fue uniforme en toda la superficie de los estanques. Sin embargo, tras observar la acumulación de materia orgánica en zonas específicas, se ajustó la distribución hacia una aplicación focalizada y sostenida en las áreas críticas, con el fin de maximizar la acción biológica de los *Bacillus spp.* sobre los sedimentos, esto aplicable al tratamiento A y B.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Procedimientos de Muestreo y Análisis:

La concentración de materia orgánica en el agua y sedimentos fue evaluada utilizando métodos de pérdida por ignición y análisis de carbono orgánico total, a su vez, la evaluación de la calidad del agua se centró en los parámetros fisicoquímicos clave que influyen directamente en la salud de los organismos cultivados, tales como pH, amoníaco (NH₃), amonio (NH₄⁺), nitritos (NO₂⁻), nitratos (NO₃⁻) y alcalinidad.

Principio del Método

El método de calcinación o pérdida por ignición (LOI) es una técnica estandarizada por Walter E. Dean (1974) utilizada para medir el contenido de materia orgánica y carbonatos en sedimentos y suelos. Se basa en la oxidación de la materia orgánica cuando la muestra se calienta a altas temperaturas (generalmente entre 500 y 550°C) en un horno de mufla. La pérdida de peso de la muestra después de la combustión indica la cantidad de materia orgánica, ya que los compuestos orgánicos se volatilizan como dióxido de carbono y otros gases (Barrezueta-Unda *et al.*, 2020).

Materiales y Equipos Necesarios

- Horno de mufla capaz de alcanzar temperaturas de hasta 550°C.
- Balanza analítica con precisión de 0.001 g.
- Crisoles de porcelana o platino (resistentes a altas temperaturas).
- Pinzas para manejar los crisoles calientes.
- Desecador con agente desecante sílice gel.
- Guantes térmicos y gafas de seguridad para el manejo de materiales calientes.
- Espátula de acero inoxidable.

Procedimiento de recolección de muestras

1. Selección de Puntos de Muestreo

Determinar los puntos de muestreo de forma representativa dentro de la piscina de producción de camarón. Se recomienda seleccionar al menos 5 puntos de muestreo por hectárea: dos en las esquinas, dos en los laterales medios y uno en el centro del estanque (Luo *et al.*, 2024).

Utilizar un sistema de cuadrícula para asegurar que los puntos de muestreo cubran diferentes áreas del estanque, teniendo en cuenta la posible acumulación de materia orgánica debido a la dirección del viento, corrientes y alimentación de los camarones.

2. Recolección de Muestras de Sedimentos

Colocar una cuchara de muestreo o un CORE de sedimentos en el fondo del estanque, asegurando que la herramienta penetre entre 5 a 10 cm en el sedimento. Este rango es crítico, ya que la materia orgánica más reciente generalmente se encuentra en las capas superiores del sedimento (Gao *et al.*, 2022).

Extraer el sedimento cuidadosamente para evitar la mezcla con capas más profundas y colocar la muestra en un recipiente estéril etiquetado con el número de punto de muestreo, la fecha, la hora y la profundidad.

Repetir el proceso en todos los puntos de muestreo seleccionados.

3. Transporte y Almacenamiento de Muestras

Colocar las muestras recolectadas en bolsas de hielo o una nevera portátil para mantenerlas a una temperatura de 4°C durante el transporte al laboratorio. Esto es esencial para minimizar los cambios biológicos y químicos en la materia orgánica (Jiang *et al.*, 2021).

Las muestras deben ser analizadas en un plazo no mayor a 48 horas después de la recolección para garantizar la integridad de los resultados.

4. Preparación de la Muestra

Se recolectó 8 muestras representativas del suelo de la entrada, salida, mesa, panameña, se homogenizó las muestras y se tomó aproximadamente 10-20 gramos. Para estudios en acuicultura, los sedimentos se pueden tomar de diferentes puntos de los estanques o cuerpos de agua.

Secar la muestra en un horno de secado a 105°C durante al menos 24 horas para eliminar el agua libre. Este paso asegura que el peso inicial de la muestra corresponda solo a los sólidos secos.

5. Preparación del Crisol

Pesar un crisol limpio y seco utilizando una balanza analítica. Registrar el peso con precisión de 0.001 g.

Colocar la muestra seca en el crisol y pesar nuevamente para registrar el peso inicial (peso del crisol + muestra seca).

6. Calcinación

Colocar el crisol con la muestra en un horno de mufla precalentado a 550°C.

Calentar la muestra durante 4 horas a 550°C. Este tiempo es suficiente para asegurar que toda la materia orgánica se oxide y volatilice.

Apagar el horno y dejar enfriar los crisoles dentro del horno hasta aproximadamente 200°C. Luego, transferir los crisoles a un desecador para enfriar a temperatura ambiente y evitar la absorción de humedad del aire.

7. Determinación de la Materia Orgánica

Pesar nuevamente el crisol con la muestra calcinada usando la balanza analítica. Registrar el peso con precisión de 0.001 g.

Calcular la pérdida de peso de la muestra (pérdida por ignición, LOI), que corresponde al contenido de materia orgánica. Utilizar la siguiente fórmula para el cálculo:

$$LOI (\%) = \left(\frac{\text{Peso inicial (muestra seca)} - \text{Peso final (muestra calcinada)}}{\text{Peso inicial (muestra seca)}} \right) \times 100$$

Ecuación 1. Método de Pérdida por Ignición (LOI, por sus siglas en inglés: Loss on Ignition)

Calidad fisicoquímica del Agua

Las mediciones se realizaron tres veces por semana durante los 15 días del ensayo experimental, utilizando en su mayoría metodología estandarizadas por la American Public Health Association (APHA, 2017), normas ISO correspondientes y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2024b).

El pH fue medido in situ utilizando el potenciómetro YSI 9700, calibrado diariamente con soluciones buffer pH 4.00, 7.00 y 10.00, con una precisión de $\pm 0,01$ unidades. Se empleó adicionalmente un equipo HANNA HI98107 como respaldo (FAO, 2024b).

El amoníaco no ionizado (NH_3) y el amonio (NH_4^+) fueron determinados por el método del salicilato, con lectura espectrofotométrica a 655 nm utilizando el espectrofotómetro HACH DR/900. Los resultados se expresaron en miligramos por litro (mg/L) (APHA, 2017; HACH, 2020).

Los nitritos (NO_2^-) se analizaron mediante el método colorimétrico de diazotización, y los nitratos (NO_3^-) se cuantificaron a través del método de reducción con cadmio, con lectura espectrofotométrica a 543 nm, ambos expresados en mg/L (APHA, 2017; HACH, 2020).

La alcalinidad se determinó por titulación ácido-base con ácido sulfúrico 0.02 N, utilizando como indicador la mezcla de bromocresol verde/metil rojo, reportando los resultados en mg/L de CaCO_3 (APHA, 2017).

Materiales y equipos necesarios:

1. Medición de pH

Equipos:

- Potenciómetro YSI 9700 (principal)
- Medidor de pH HANNA HI98107 (como respaldo)

- Soluciones buffer de calibración: pH 4.00, 7.00 y 10.00
- Electrodo de pH (para ambos equipos)

Materiales:

- Frascos limpios para almacenar buffers.
- Agua destilada o desionizada.
- Papel absorbente o toallas suaves.

2. Medición de Amoníaco ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) – Método del Salicilato

Equipos:

- Espectrofotómetro HACH DR/900 (rango visible, 655 nm).
- Cubetas o celdas de espectrofotómetro (ajustadas a la longitud de onda requerida).

Reactivos y materiales:

- Reactivo de salicilato.
- Patrones de amonio (para curva de calibración).
- Pipetas o dispensadores de precisión.
- Vasos o tubos de reacción limpios.
- Agua destilada.

3. Medición de Nitritos (NO_2^-) – Método de Diazotización

Equipos:

- Espectrofotómetro HACH DR/900 (lectura a 543 nm).

Reactivos y materiales:

- Reactivos de diazotización.
- Patrones de nitrito (para curva de calibración).
- Cubetas o celdas para espectrofotómetro.
- Pipetas y tubos de ensayo.

4. Medición de Nitratos (NO_3^-) – Método de Reducción con Cadmio

Equipos:

- Espectrofotómetro HACH DR/900 (543 nm).
- Columna de reducción con cadmio.

Reactivos y materiales:

- Reactivos para reducción.
- Patrones de nitrato (para curva de calibración).
- Tubos o viales para la reducción.

5. Determinación de Alcalinidad – Titulación Ácido-Base

Equipos:

- Bureta (para titulación, preferiblemente de 25 o 50 ml).
- Soporte universal y pinzas para bureta.
- Agitador magnético (opcional).

Reactivos y materiales:

- Ácido sulfúrico 0.02 N.
- Indicador bromocresol verde/metil rojo.
- Matraces Erlenmeyer.

- Pipetas o dispensadores para el indicador.

Precauciones y Consideraciones

- Hay que asegurar que el horno de mufla esté bien ventilado para evitar la acumulación de gases nocivos.
- Manipular los crisoles calientes con pinzas y guantes térmicos para evitar quemaduras.
- Evitar la exposición de las muestras a la humedad del ambiente durante el pesaje después de la calcinación, utilizando un desecador.
- Realizar al menos dos repeticiones de cada muestra para asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados.
- Verificar equipos (espectrofotómetro, potenciómetro) con estándares certificados para la calibración y control de calidad del agua.
- Refrigerar las muestras si no se analizan inmediatamente (especialmente para NH_3 y NO_2^-).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Se utilizó un análisis descriptivo de las variables analizadas (Peña, 2017), además de un análisis de componentes principales (PCA), con ayuda del programa PAST 4.13, medio ideal para realizar un análisis exploratorio de los datos obtenidos e identificar su relación entre sí (Ávila & García., 2015; García *et al.*, 2018)

Para determinar la normalidad de los datos, definir si cumplen con la normalidad y clasificar si son datos paramétricos o no paramétricos, se realizó la prueba Shapiro-Wilk complementado con gráficos de normalidad para cada variable analizada (Normality plot), donde se lo comparará en base al estándar $P= +0,05$ para determinar si su variación es

significativa o no, esto realizado en el programa PAST 4.13 (Tapia & Cevallos, 2021; Porras, 2006).

Una vez definido si los datos obtenidos de la fase muestral son paramétricos o no paramétricos se decidirá realizar la correlación en relación con esto, ya sea Pearson o Spearman en el programa PAST 4.13 correspondientemente presentado en su correlograma (Bustamante & Mendoza, 2013).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de los diferentes tratamientos que se realizaron para evaluar la materia orgánica en un medio de cultivo de larvas de camarón blanco *P. vannamei*, se realizó una estadística descriptiva de la matriz general de los tratamientos realizados.

Los resultados obtenidos, Tabla 1 y Figura 1, evidenciaron diferencias significativas en la dinámica de la materia orgánica (MO) entre los tratamientos evaluados. Se observa que la materia orgánica final en el medio de cultivo mediante el uso de alimentadores automáticos y la implementación de la dosis de *Bacillus spp.* “A”, presentó la mayor eficiencia al tener un valor menor que la MO inicial en relación a los otros tratamientos “B y C”, esto debido al tipo de distribución de la dosis de bacterias.

Para el caso A1 se redujo un 40,62% de la carga de MO inicial y para el tratamiento en A2 un 22,22% correspondiente, mientras que, para el proceso tradicional de Boleo, con la misma dosis, se registra una capacidad con menor efectividad y un porcentaje de reducción de MO Final escaso, así para el tratamiento en B1 de 6,06% y B2 de 16,67% en relación a la inicial, resultados consistentes con lo reportado por Kumar et al. (2021) respecto a la menor eficiencia de los métodos de dispersión manual.

Esta variabilidad se asocia a factores operativos y ambientales que afectan la distribución espacial del inoculante. El tratamiento C “Control”, en contraposición de las dos anteriores, presenta una carga positiva que supera la inicial, con variaciones del 36,84% para C1 y 73,91% para C2, demostrando el efecto inhibitorio de *Bacillus spp.* sobre la acumulación de compuestos orgánicos el uso de *Bacillus spp.* En un medio de cultivo el control de materia orgánica es de suma importancia para su cuidado debido a que una gran concentración altera de manera proporcional la supervivencia de ejemplares y la composición química de la calidad de agua y suelo (Boyd, 2001; Kim *et al.*, 2022).

Tabla 1. Materia Orgánica obtenida

| <i>Precriás</i> | <i>MO Inicial (%)</i> | <i>MO Final (%)</i> | <i>% de MO Final</i> | <i>% de reducción de MO</i> |
|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| A1 | 3,2 | 1,9 | 59,38 | 40,62 |
| A2 | 3,6 | 2,8 | 77,78 | 22,22 |
| B1 | 3,3 | 3,1 | 93,94 | 6,06 |
| B2 | 2,4 | 2 | 83,33 | 16,67 |
| C1 | 3,8 | 5,2 | 136,84 | -36,84 |
| C2 | 2,3 | 4,0 | 173,91 | -73,91 |

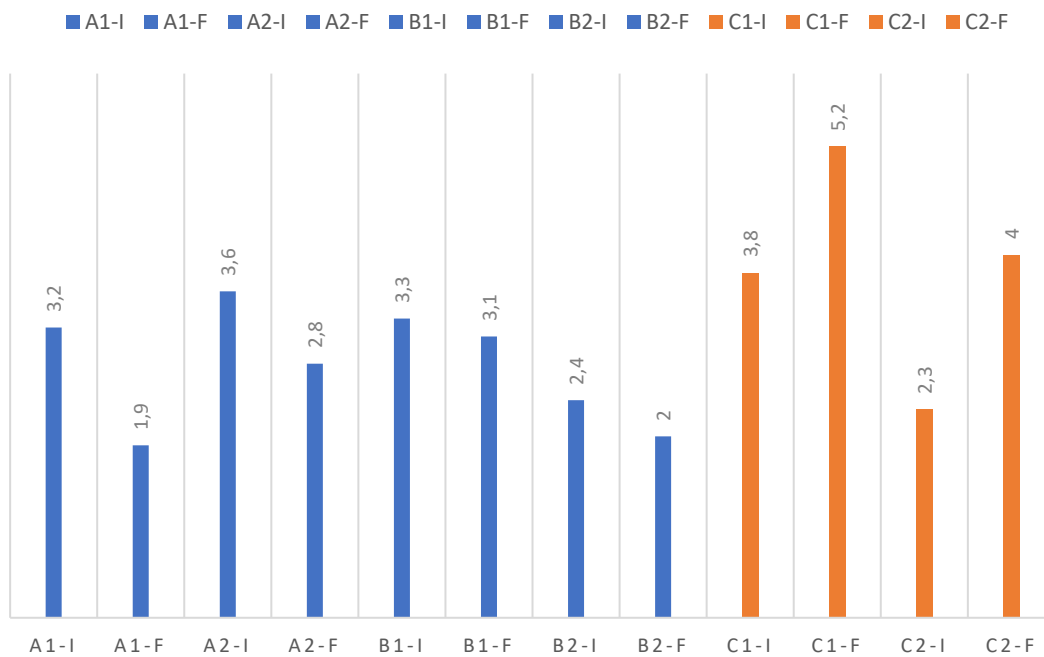


Figura 1. Registro de materia orgánica obtenida, azul; valores de materia orgánica con acumulación negativa, naranja; valores de materia orgánica con acumulación positiva

Con relación a los parámetros fisicoquímicos analizados, en primer lugar, se realizó un análisis de componentes principales “PCA”, que permite una exploración general de los datos, para lograr interpretar las variables que se relacionan en base a los tratamientos realizados, el mismo que se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a continuación.

Tabla 2. Data para Análisis de PCA, variables y tratamientos

| <i>Variables</i> | <i>A1</i> | <i>A2</i> | <i>B1</i> | <i>B2</i> | <i>C1</i> | <i>C2</i> |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Alcalinidad | 132,7 | 138,8 | 133 | 132,8 | 133,3 | 133,6 |
| Nitrito | 0,058 | 0,092 | 0,090 | 0,08 | 0,17 | 0,12 |
| Nitrato | 7,2 | 6,7 | 7,98 | 4,62 | 8,53 | 8,68 |
| pH | 7,78 | 8,05 | 7,93 | 7,64 | 7,85 | 7,83 |
| Amonio | 0,34 | 0,36 | 0,23 | 0,28 | 0,36 | 0,48 |
| Amoniaco | 0,017 | 0,023 | 0,013 | 0,008 | 0,014 | 0,019 |
| MO Inicial (%) | 3,3 | 3,6 | 3,3 | 2,4 | 3,8 | 2,3 |
| MO Final (%) | 1,9 | 2,8 | 3,1 | 2 | 5,2 | 4,0 |

En base a lo presentado en la

Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables analizadas y su correlación con los tratamientos realizados” indica cómo las variables ambientales (pH, alcalinidad, nitrito, nitrato, etc.) y los tratamientos se proyectan en los dos primeros componentes principales.

El componente 1 (eje horizontal) y el componente 2 (eje vertical) explican la mayor variabilidad de los datos. En relación con el tratamiento A2 los puntos relacionados con el tratamiento A están más asociados con variables positivas en el eje Y cómo alcalinidad, pH, amoníaco y materia orgánica inicial, y se indica que este tratamiento tiene una relación positiva con condiciones más estables en términos de alcalinidad y pH. En base a lo analizado con el tratamiento B1, se encuentran cerca del origen, indicando un comportamiento neutro, B2 se separa en el cuadrante negativo del eje X y bajo en Y, sugiriendo menor asociación con las variables ambientales positivas.

Por último, el tratamiento C1 y C2 se asocia con variables negativas del eje X y Y, como nitrato, nitrito y materia orgánica, indicando un incremento en compuestos nitrogenados y posible acumulación de residuos orgánicos (Susetyaningsih *et al.*, 2020). Se puede interpretar que el tratamiento A y B muestra mejores resultados en términos de alcalinidad, pH y condiciones iniciales de materia orgánica, siendo A más positivo que B. Por otro lado, el

tratamiento C (Control) se relaciona con mayor acumulación de nitrato, nitrito y materia orgánica final, indicando menor eficiencia en la mejora de condiciones del sistema.

La forma en que el *Bacillus spp.* interactúa con el ambiente parece ser más evidente en relación con la mejora de las condiciones del medio ambiente en el tratamiento con alimentador automático (A).

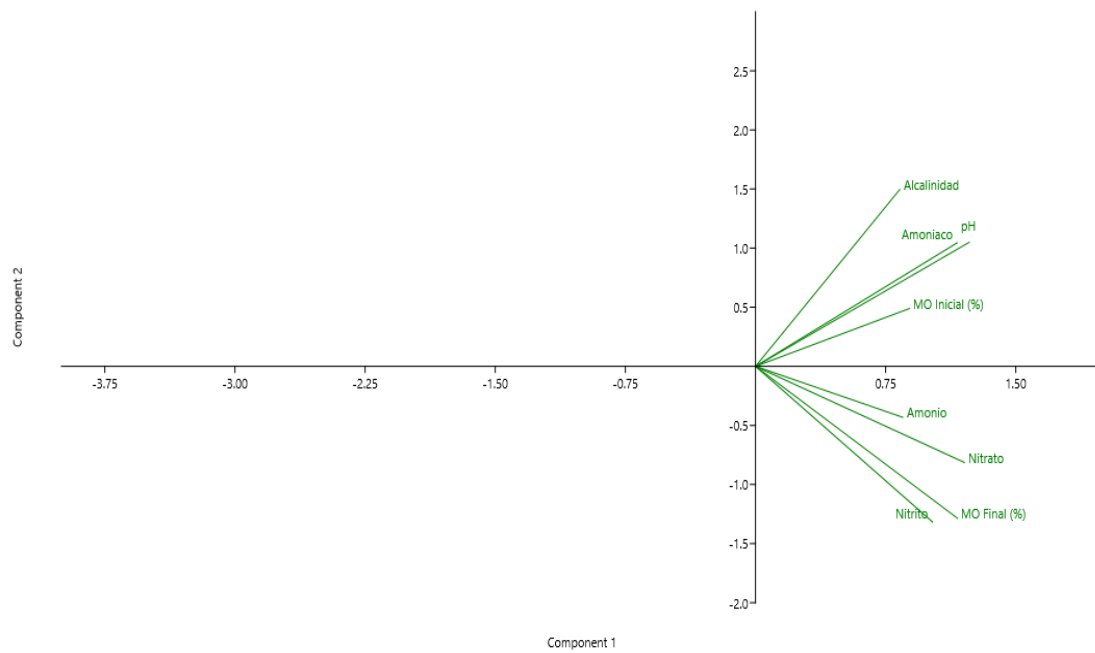


Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) de las variables analizadas y su correlación con los tratamientos realizados

| <i>Variables</i> | <i>PC 1</i> | <i>PC 2</i> | <i>PC 3</i> | <i>PC 4</i> | <i>PC 5</i> |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Alcalinidad | 0.52615 | 0.74245 | 0.081825 | 0.39835 | -0.081006 |
| Nitrito | 0.64594 | -0.6536 | -0.16669 | 0.3571 | -0.015891 |
| Nitrato | 0.76197 | 0.40342 | 0.017097 | -0.50124 | -0.071592 |
| pH | 0.77987 | 0.52091 | -0.21174 | -0.11354 | -0.25049 |

| | | | | | |
|----------------|---------|---------|----------|-----------|----------|
| Amonio | 0.53714 | 0.21378 | 0.79174 | 0.083126 | 0.17892 |
| Amoniaco | 0.73576 | 0.51869 | 0.39496 | -0.15017 | 0.10523 |
| MO Inicial (%) | 0.56107 | 0.24269 | -0.71418 | -0.036514 | 0.33898 |
| MO Final (%) | 0.73705 | 0.63803 | -0.13357 | 0.15813 | -0.08268 |
| % de varianza | 44,634% | 27,415% | 17,379% | 7,576% | 2,993% |

Las cargas factoriales (

Tabla 3. Cargas factoriales asociada con cada componente principal.

) indican cuánto contribuye cada variable a los componentes principales, ayudándonos a interpretar qué variables son más relevantes para explicar las diferencias observadas (Ávila & García, 2015).

Tabla 3. Cargas factoriales asociada con cada componente principal.

El componente PC1 explica el 44,63% de la varianza, y denota 5 variables con mayor influencia, pH, Nitrato, amoniac, MO Final y Nitrito, reflejando diferencias relacionadas con el equilibrio químico y el contenido de nitrógeno en el sistema de cultivo. PC2; Explica el 27,42% de la varianza, presenta 3 variables positivas, Alcalinidad, pH y amoniac, además de 2 negativas, nitrito y MO Final, este componente parece separar condiciones de alcalinidad y pH estables frente a la acumulación de residuos finales y compuestos nitrogenados como el nitrito. PC3; Representa el 17,38% de la varianza, variables con mayor influencia, amonio y MO inicial, indica diferencias específicas en la presencia de compuestos nitrogenados con la materia orgánica inicial. PC4 y PC5; juntos explican menos del 11% de la varianza, reflejan variaciones menores y específicas menos relevantes para las diferencias principales.

Los componentes que capturan las diferencias más significativas son PC1 y PC2 destacando principalmente variables relacionadas con el pH, nitrato, nitrito y materia orgánica, además del uso de *Bacillus spp.* en los tratamientos A y B que influyen positivamente en las variables asociadas con la estabilidad química (Alcalinidad, pH, Nitrógeno amoniacal), mientras que el tratamiento control (C) se relaciona con mayor acumulación de nitratos y MO final.

Hermesen, D. (2020), menciona que la estabilidad química también se puede alcanzar a

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco | MO Inicial (%) | MO Final (%) |
|-----------------------|-------------|---------|---------|--------|--------|----------|----------------|--------------|
| N | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Shapiro-Wilk W | 0.6262 | 0.9142 | 0.8919 | 0.9876 | 0.9481 | 0.993 | 0.894 | 0.9255 |
| P (normal) | 0.00093 | 0.4648 | 0.3284 | 0.9826 | 0.7252 | 0.995 | 0.339 | 0.546 |
| Data | NP | P | P | P | P | P | P | P |
| Method | S | P | P | P | P | P | P | P |

través de valorizar los residuos mediante la producción natural y el uso de alternativas comerciales que sean más sostenibles y contemplen detalles técnicos de los proveedores para impactos del uso del producto.

En relación con la data obtenida,

, se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, incluyendo a este análisis el % de supervivencia para luego proceder a establecer un método de correlación sean estas paramétricas +0,05 o no paramétricas -0,05.

Tabla 4. Prueba de normalidad de las variables analizadas

Nota: Data; NP: No paramétrico y P: Paramétrico; Method; S: Spearman y P: Pearson

En base a la

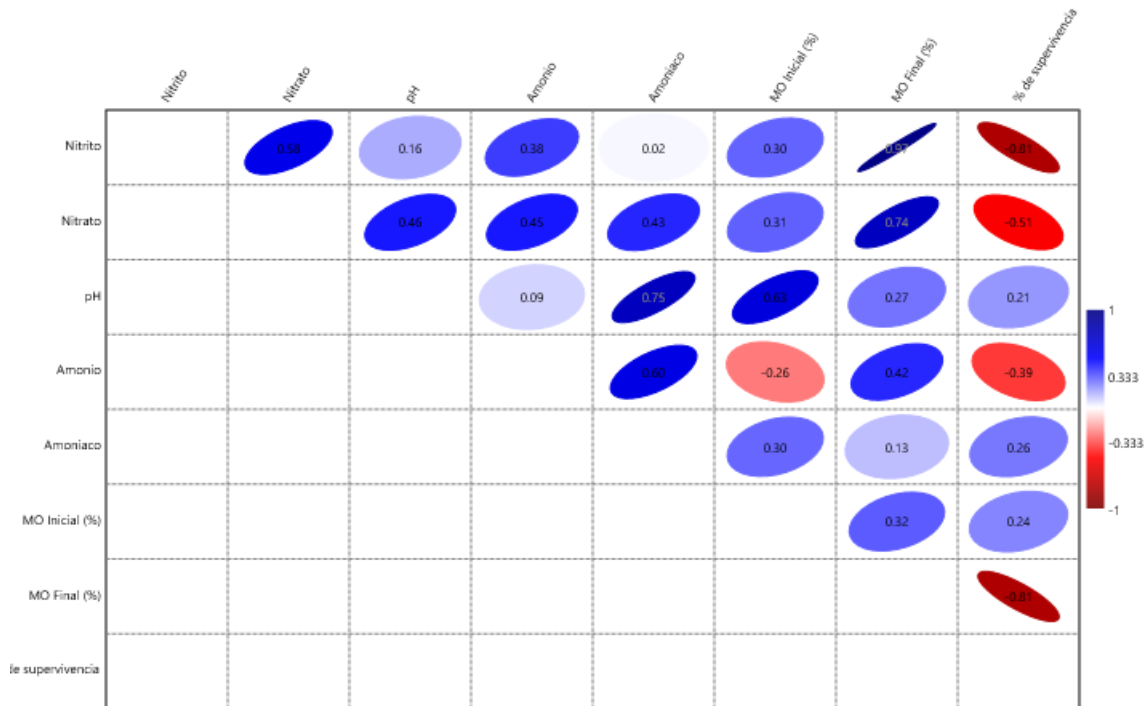


Figura 3. Correlación de Pearson; data paramétrica

notamos que existe en su mayoría una correlación positiva en las variables ambientales analizadas, descartando las correlaciones débiles (Azul claro, -0,50), observamos que existen casos como lo son los niveles de nitrito, con correlación positiva ligeramente fuertes con los niveles de nitratos. Esto puede reflejar un proceso activo de nitrificación, donde el nitrito es un intermediario en la conversión del amonio en nitrato por bacterias nitrificantes y la materia orgánica final (García *et al.*, 2018).

A su vez observamos este mismo fenómeno con la concentración de Nitratos que presenta una correlación positiva con la Materia Orgánica Final, esto podría implicar que la descomposición de materia orgánica contribuye significativamente a los niveles de nitrato a través de procesos de mineralización. El pH también presenta una relación fuerte con la concentración de amoniaco y de Materia orgánica inicial, lo que podría indicar que los niveles de amoniaco libre (que son sensibles al pH) y los procesos biológicos asociados con la materia

orgánica están influenciados por las condiciones de alcalinidad o acidez, por consiguiente el Amonio, se ve relacionado de forma positiva con la presencia de amoniaco en el medio, lo cual es esperado porque el equilibrio entre ambas formas depende del pH del medio, además de ligeramente correlacionarse con los valores de MO Final, no obstante el amonio presenta una ligera correlación negativa con la MO Inicial que explican como los altos niveles iniciales de materia orgánica reducen la acumulación de amoniaco tóxico, dándonos a entender que en la data proporcionada no existe mayor relación entre ellas (López-Torres, 2024).

Por último relacionando al amoniaco con MO inicial y MO Final presentan una correlación ligera, lo que sugiere que una proporción significativa de la materia orgánica no se mineraliza completamente durante el periodo de cultivo.

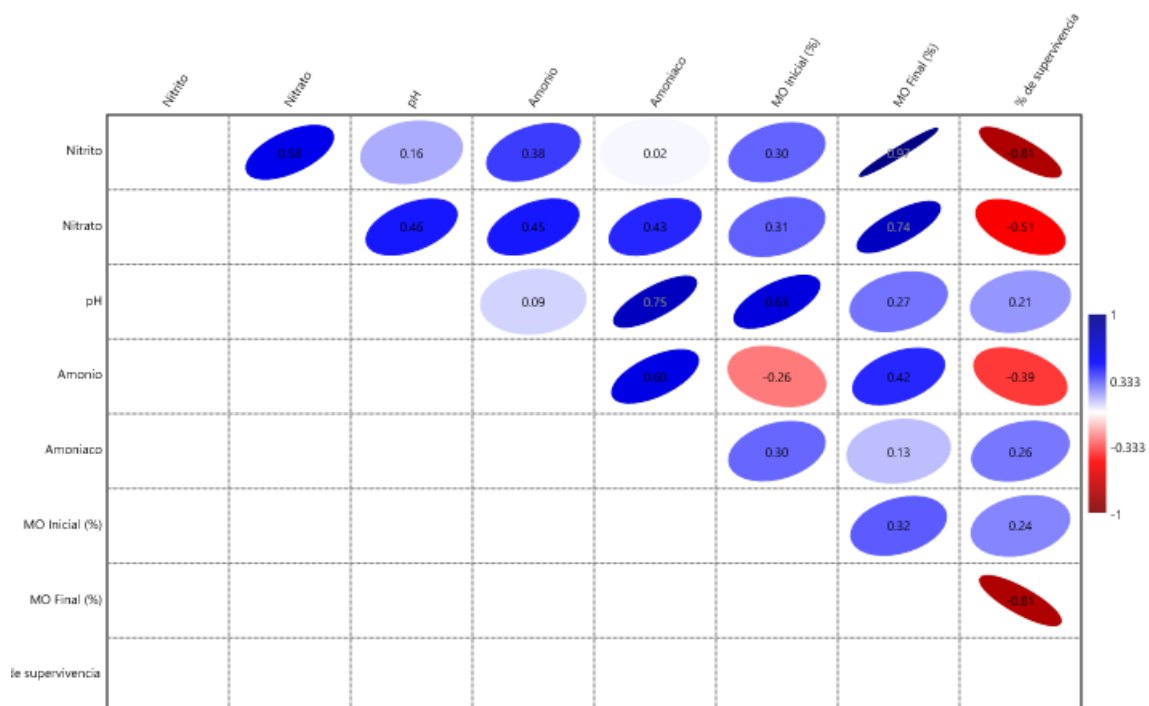


Figura 3. Correlación de Pearson; data paramétrica

Estos patrones indican que las dinámicas de nitrificación, la acumulación de productos de desecho (como nitrito y amoniaco), y el balance de materia orgánica son procesos interrelacionados en el medio, y con relación a la supervivencia registrada por tratamiento

(¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Se observa una diferencia de al menos +5% de supervivencia entre los tratamientos A y B, indicando que el método realizado a parte de mantener mejores características de la composición de la calidad del agua, ayudan a que exista un mayor porcentaje de supervivencia que el método tradicional de Boleo, mientras que el tratamiento C o de control indica la importancia del uso de *Bacillus spp.* en el medio de cultivo, el mismo que presenta una diferencia de -15% de supervivencia con el tratamiento A, demostrando de esta forma un mayor rendimiento en comparación a los demás tratamientos.

Tabla 5. Porcentaje de supervivencia registrado por tratamiento

| Tratamientos | % de supervivencia |
|--------------|--------------------|
| A1 | 77,42 |
| A2 | 76,83 |
| B1 | 69,2 |
| B2 | 69,66 |
| C1 | 61,25 |
| C2 | 61 |

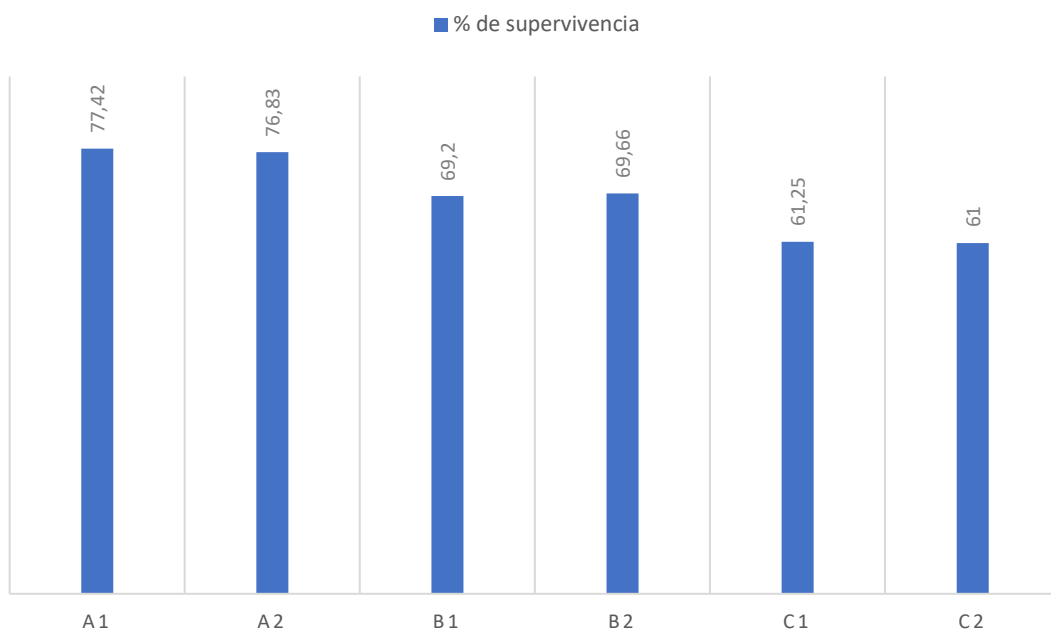


Figura 4. Supervivencia registrada por tratamiento realizado.

Estudios recientes con consorcios de *Bacillus* (BG4: *B. licheniformis*, *B. subtilis*) utilizados para la reducción de material orgánico en cultivos de *P. vannamei* reportan tasas de degradación

de amonio hasta 36.3% en sistemas controlados, aunque con persistencia limitada en la columna de agua (3.5×10^4 a 6.9×10^2 UFC/ml en 7 días) (Hu *et al.*, 2023). Estas cepas BG4 no muestran impacto en supervivencia, mientras que en los tratamientos (A1/A2) la reducción de MO sugiere indirectamente mejor salud larval al tener una supervivencia generalmente superior.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En base a toda información analizada se concluyen tres diferentes resultados, mas no independientes entre sí. En primero lugar la reducción de la materia orgánica en los sistemas de cultivo es esencial para garantizar la estabilidad química y la salud de las larvas, que refuerza la necesidad de adoptar prácticas biotecnológicas como parte del manejo acuícola integral.

En segundo lugar la inclusión de *Bacillus spp.* en los tratamientos del medio de cultivo se confirmó como una estrategia eficaz para el control de la materia orgánica, mejorando las condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de larvas de *Penaeus vannamei*. En combinación con el uso de alimentadores automáticos, se logró mantener parámetros químicos estables en el medio, reduciendo la acumulación de compuestos nitrogenados y promoviendo un entorno más favorable para las larvas. Por último, estos tratamientos que usaron *Bacillus spp.* evidenciaron un impacto positivo en la supervivencia de las larvas de camarón blanco, subrayando la relevancia de integrar microorganismos probióticos en los sistemas de cultivo acuícola.

Por tanto, se recomienda adoptar prácticas biotecnológicas como parte integral del manejo acuícola. Es fundamental establecer un protocolo riguroso de monitoreo de parámetros químicos clave (pH, alcalinidad, nitritos, nitratos y amoníaco), utilizando equipos calibrados para detectar desviaciones en tiempo real y ajustar dinámicamente las dosis de probióticos. Además, se sugiere estandarizar la aplicación de *Bacillus spp.* considerando factores como la dosis, frecuencia y métodos de introducción, en función de la densidad de siembra y las características químicas del agua.

Asimismo, se deben implementar técnicas complementarias al uso de *Bacillus spp.*, como biofloculación o sistemas de recirculación, maximizando la eficiencia en la remoción de materia orgánica y reduciendo los riesgos de acumulación de compuestos tóxicos. Finalmente,

se recomienda incorporar dietas formuladas que favorezcan la actividad de *Bacillus spp.* en el medio, optimizando su acción probiótica y potenciando el equilibrio del sistema de cultivo. Esto incluye alimentos con aditivos prebióticos que promuevan el crecimiento de microorganismos beneficiosos.

REFERENCIAS

- Alvarado, M. A., Ullauri, N. R., & Benítez, F. V. (2020). Impacto de exportaciones primarias en el crecimiento económico del Ecuador: análisis econométrico desde Cobb Douglas, período 2000-2017. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 220–231. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1140>.
- American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA.
- Anggraini, S. I., Diana Arfiati, Happy Nursyam, Audina I. Pratiwi, Ekki Windi, & Sofiatul. (2019). Reducing The Concentration of Organic Matter and Proximate of Catfish (*Clarias gariepinus*) Culture Medium Using *Bacillus Subtilis*. *Samakia : Jurnal Ilmu Perikanan*, 10(2), 73–82. <https://doi.org/10.35316/jsapi.v10i2.313>
- Ávila Pérez, H., & García Ibañez, S. (2015). Análisis de Componentes Principales, como herramienta para interrelaciones entre variables fisicoquímicas y biológicas en un ecosistema léntico de Guerrero, México.
- Barrezueta-Unda, S., & Cervantes-Alava, A. & Ullauri-Espinoza, M. & Barrera-Leon, J. & Condoy-Gorotiza, A. (2020). Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el oro-ecuador. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*. 19. 25-36. [10.14409/fa.v19i2.9747](https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747).
- Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, 1, 1-11. <https://doi.org/10.21142/ss-0101-2020-003>
- Bhakta, J. N., Jana, B. B., Munekage, Y., & Reimer, J. J. (2016). DISTRIBUTIONAL RELATIONSHIP BETWEEN PHOSPHORUS, ORGANIC MATTER AND ORGANIC CARBON IN MUD OF COASTAL SHRIMP-FARMING PONDS.

- Environmental Engineering and Management Journal, 15(11), 2395–2401.
<https://doi.org/10.30638/eemj.2016.261>
- Bolaños, J., Mora, N., & Espinoza, C. (2020). Disrupción, resiliencia y evolución del sector camaronero ecuatoriano entre 2010 y 2019. *593 Digital Publisher CEIT*, 5(6–1), 285–299. <https://doi.org/10.33386/593dp.2020.6-1.413>
- Boyd, C. E. (2001). Prácticas de manejo para reducir el impacto ambiental del cultivo de camarón. *Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica*. MC, Haws y CE, Boyd (eds), 267-295.
- Burford, A. M. y K. C. Williams. 2001. The fate of nitrogenous waste from shrimp feeding. *Aquaculture* 198: 79-93.
- Bustamante, G., & Mendoza Quispe, C. A. (2013). Estudios de correlación. *Revista de actualización clínica investiga*, 33, 1690.
- Cámara Nacional de Acuicultura. (2019, February). Gobierno llegó a consenso con el sector privado sobre la compensación para uso de diésel industrial. <https://www.cna-ecuador.com/aquacultura-127/>
- Chen-Chu, J. C., P. Chung-Liu y L. Shun-Chiang. 1990. Toxicity of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. *Aquaculture* 89: 127-137.
- Ching, C. (2007). Manejo de la calidad del agua en la acuicultura de camarón. Instituto de Investigación de Acuicultura, Consejo de Agricultura, Taiwán.
- Clifford, H. C. (1994). Manual de producción de camarón: Un enfoque práctico. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EE. UU.
- Dean, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Journal of*

Sedimentary Research, 44(1), 242-248. <https://doi.org/10.1306/74D729D2-2B21-11D7-8648000102C1865D>

Domínguez, E. (2020). Análisis de las exportaciones de camarón antes y después de la firma del Acuerdo Multipartes entre Ecuador y la Unión Europea. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*, 2–9. <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/03/exportacionescamaron.html>

Fan, Y., Wang, X., Wang, Y., Ye, H., Yu, X., Wang, S., ... & Ma, D. (2021). Effect of dietary *Bacillus licheniformis* on growth, intestinal health, and resistance to nitrite stress in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture International*, 29(6), 2555-2573.

FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. Sostenibilidad en acción. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

FAO. (2024). *Penaeus vannamei*. Programa de información de especies acuáticas. Texto de Briggs, M. En: Pesca y acuicultura. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/es/culturedspecies/litopenaeus_vannamei_es/es

FAO. (2024b). Water Quality Management for Coastal Aquaculture.

Federación Ecuatoriana de Exportadores. (2020). Reporte estadístico mensual de comercio exterior. Fedexpor. <https://www.fedexpor.com/reportes-estadisticos/>

Frías-Espericueta, M. G. y F. Páez-Osuna. 2001. Toxicidad de los compuestos nitrogenados en camarones. En: Páez-Osuna F. (ed.). *Camaronicultura y Medio Ambiente*. UNAM y el Colegio de Sinaloa. México, D.F. 253p.

- Gao, J., Liu, L., Zy, S., & Lv, J. (2022). Characteristics of Fluorescent Dissolved Organic Matter in Paddy Soil Amended with Crop Residues After Column (0–40 cm) Leaching. *Frontiers in Environmental Science*. 10. 10.3389/fenvs.2022.766795.
- García, S., Juárez, A., Olivier, B., Rivas, M., & Zeferino, J. (2018) Variables Fisicoquímicas ambientales que inciden el cultivo de Camarón *Penaeus vannamei*, en Coyuca de Benítez, Guerrero, México.
- Guerrero-Olazarán, M., E. L. Cab-Barrera, L. J. Galán-Wong y J. M. Viader-Slavado. 2004. Biotecnología de Proteínas Recombinantes para la aplicación en acuicultura. Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Pp. 16-19.
- HACH. (2020). *Hach DR/900 Handbook for Water Analysis*. HACH Company.
- Hermesen, D. (2020). Nutritious ponds: valorising waste using natural production [Wageningen University]. <https://doi.org/10.18174/512943>
- Hernández-Gurrola, J. A. 2016. Caracterización de la Calidad del Agua en un sistema Intensivo de Cultivo de Camarón Blanco *Litopenaeus vannamei*, en condiciones de Alta Salinidad con recambio de Agua Limitado. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 119 p.
- Hirono, Y. (1983). Técnicas de cultivo de camarón en Japón. Asociación Japonesa de Acuicultura, Tokio, Japón.
- Hou, D., Zhou, R., Zeng, S., Wei, D., Deng, X., Xing, C., Weng, S., He, J., & Huang, Z. (2021). Stochastic processes shape the bacterial community assembly in shrimp cultural pond sediments. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(12), 5013–5022. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11378-9>

- Hu, X.; Xu, Y.; Su, H.; Xu, W.; Wen, G.; Xu, C.; Yang, K.; Zhang, S.; Cao, Y. (2023). Effect of a Bacillus Probiotic Compound on *Penaeus vannamei* Survival, Water Quality, and Microbial Communities. *Fishes*: 8, 362. DOI: 10.3390/fishes8070362
- Jiménez-Novillo, J. C., Carvajal Romero, H., & Vite Cevallos, 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.
- Kim, S.-K., Song, J., Rajeev, M., Kim, S. K., Kang, I., Jang, I.-K., & Cho, J.-C. (2022). Exploring bacterioplankton communities and their temporal dynamics in the rearing water of a biofloc-based shrimp (*Penaeus vannamei*) aquaculture system. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.995699>
- Kumar, V., Roy, S., Behera, B. K., Swain, H. S., & Das, B. K. (2021). Biofloc microbiome with bioremediation and health benefits. *Frontiers in Microbiology*, 12, 741164. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.741164>
- Lee, C. S., & Wickins, J. F. (1992). *Principios de acuicultura de camarón*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Reino Unido.
- Limsuwan, C. (2005). *Manual de prácticas de manejo para la producción de camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*. Departamento de Pesca, Universidad de Kasetsart, Tailandia.
- López-Torres, M. E. (2024). Manejo de calidad de agua en la industria de la acuicultura en el departamento del meta. Universidad Santo Tomás.
- Luo, K., Guo, Z., Liu, Y., Li, C., Ma, Z., & Tian, X. (2024). Responses of growth performance, immunity, disease resistance of shrimp and microbiota in *Penaeus vannamei* culture system to *Bacillus subtilis* BSXE-1601 administration: Dietary supplementation versus water addition. *Microbiological Research*, 283, 127693.

- Manjusha, M., Sriram, P., & Prabakaran, N. (2023). Automatic Fish Feeder System using ATMEGA328p Microcontroller. 2023 Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS), 277–282. <https://doi.org/10.1109/ICEARS56392.2023.10085291>
- Peña, S. (2017). Análisis de datos, Fundación Universitaria del Área Andina.
- Pérez, A., Machado, W., Gutiérrez, D., Saldarriaga, M. S., & Sanders, C. J. (2020). Shrimp farming influence on carbon and nutrient accumulation within Peruvian mangroves sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106879>
- Porras, J. C. (2016). Comparación de pruebas de normalidad multivariada. In *Anales científicos* (Vol. 77, No. 2, pp. 141-146). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Rana-Chhetri, B., Silwal, P., Jyapu, P., Maharjan, Y., Lamsal, T., & Basnet, A. (2022). Biodegradation of Organic Waste Using Bacillus Species Isolated from Soil. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 10(2), 104–111. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v10i2.44303>
- Sánchez-Estudillo, L. (2011). Alimento nutritivo, colorido y en movimiento: Los cultivos de apoyo en Acuicultura. *Ciencia y Mar*, 15(43), 55-60.
- SENASICA. (2003). Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para el Cultivo de Camarón. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, México.
- Socorrás, D., & Sánchez, A. (2019). Riesgo, vulnerabilidad e incertidumbre en la acuicultura. *Revista cubana de finanzas y precios*, 3(1), 102-113.
- Srivastava, S., & Kumar, S. (2022). Bacterial remediation to control pollution. In *Biological Approaches to Controlling Pollutants* (pp. 285–305). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824316-9.00017-3>

- Susetyaningsih, R., Suntoro, S., Gunawan, T., & Budiastuti, M. T. S. (2020). Impact of shrimp pond waste on water quality (case study of Trisik Lagoon in Yogyakarta). 020050. <https://doi.org/10.1063/5.0030551>
- Tapia, C. E. F., & Cevallos, K. L. F. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, ryan-joiner, shapiro-wilk y kolmogórov-smirnov. *Societas*, 23(2), 83-106.
- Thirumalai, P., Senthil, J., Anand, P., & Senthilkumar, R. (2018). Quality of aquaculture farm practice in Sirkazhi coast. *International Journal of Applied Research*, 4, 312–318.
- Van Den Hende, S., Beelen, V., Julien, L., Lefoulon, A., Coolsaet, C., Vanhoucke, T., Sonnenholzner, S., Vervaeren, H., & Rousseau, D. (2016). Technical potential of microalgal bacterial floc raceway ponds treating food-industry effluents while producing microalgal bacterial biomass: An outdoor pilot-scale study. *Bioresource Technology*. 218. 10.1016/j.biortech.2016.07.065.

ANEXOS

Estadística descriptiva de la base de datos obtenida por tratamiento.

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco |
|---------------------|-------------|---------|---------|------|--------|----------|
| Promedio | 132.7 | 0.128 | 7.2 | 7.78 | 0.34 | 0.017 |
| Desviación estándar | 8.2 | 0.099 | 3.1 | 0.25 | 0.22 | 0.020 |
| Valores máximos | 139 | 0.272 | 12 | 8.22 | 0.60 | 0.061 |
| Valores mínimos | 115 | 0.051 | 4 | 7.46 | 0.04 | 0.002 |

Anexo 1. Alimentador automático 1

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco |
|---------------------|-------------|---------|---------|------|--------|----------|
| Promedio | 138.8 | 0.092 | 6.70 | 8.05 | 0.36 | 0.023 |
| Desviación estándar | 5.5 | 0.062 | 4.15 | 0.29 | 0.24 | 0.016 |
| Valores máximos | 146.0 | 0.152 | 11.70 | 8.39 | 0.69 | 0.054 |
| Valores mínimos | 134.0 | 0.120 | 1.10 | 7.60 | 0.12 | 0.010 |

Anexo 2. Alimentador automático 2

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco |
|---------------------|-------------|---------|---------|------|--------|----------|
| Promedio | 133.0 | 0.090 | 7.98 | 7.93 | 0.23 | 0.013 |
| Desviación estándar | 2.2 | 0.100 | 3.26 | 0.09 | 0.08 | 0.006 |
| Valores máximos | 136.0 | 0.261 | 11.10 | 8.05 | 0.34 | 0.020 |
| Valores mínimos | 130.0 | 0.012 | 3.70 | 7.80 | 0.14 | 0.008 |

Anexo 3. Boleo 1

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco |
|---------------------|-------------|---------|---------|------|--------|----------|
| Promedio | 132.8 | 0.082 | 4.62 | 7.64 | 0.28 | 0.008 |
| Desviación estándar | 6.5 | 0.075 | 2.73 | 0.06 | 0.24 | 0.008 |
| Valores máximos | 141.0 | 0.180 | 7.70 | 7.73 | 0.70 | 0.022 |
| Valores mínimos | 125.0 | 0.013 | 1.20 | 7.58 | 0.10 | 0.002 |

Anexo 4. Boleo 2

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco |
|---------------------|-------------|---------|---------|------|--------|----------|
| Promedio | 133.3 | 0.166 | 8.53 | 7.85 | 0.36 | 0.014 |
| Desviación estándar | 2.9 | 0.131 | 3.98 | 0.15 | 0.20 | 0.006 |
| Valores máximos | 137.0 | 0.351 | 12.40 | 7.99 | 0.61 | 0.021 |
| Valores mínimos | 130.0 | 0.071 | 3.40 | 7.72 | 0.13 | 0.007 |

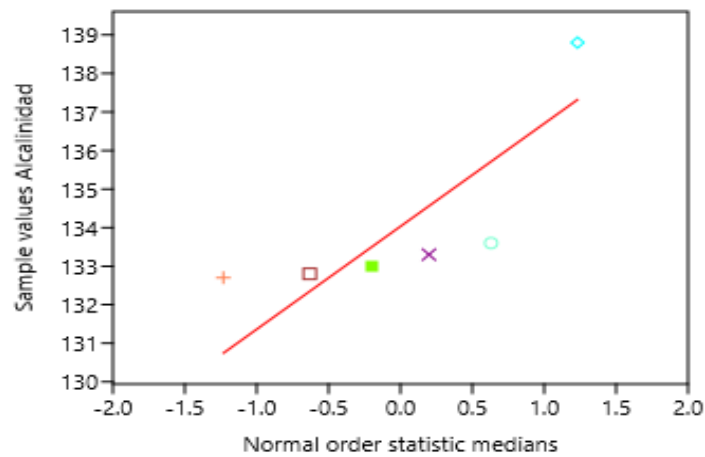
Anexo 5. Control 1

| | Alcalinidad | Nitrito | Nitrato | pH | Amonio | Amoniaco |
|---------------------|-------------|---------|---------|------|--------|----------|
| Promedio | 133.6 | 0.122 | 8.68 | 7.83 | 0.48 | 0.019 |
| Desviación estándar | 7.8 | 0.055 | 3.16 | 0.37 | 0.29 | 0.009 |

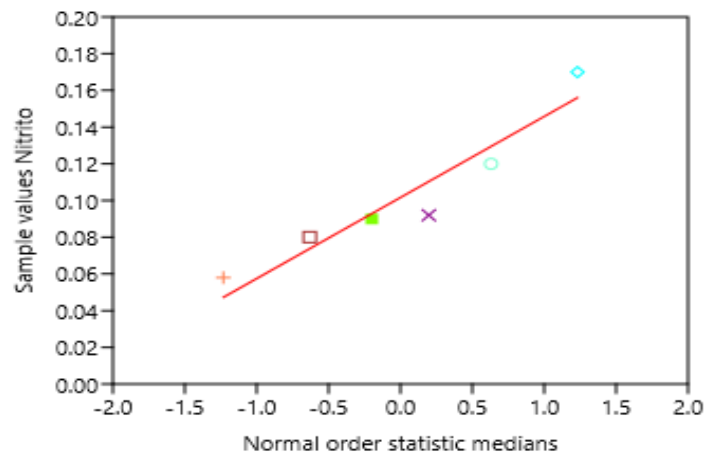
| | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Valores máximos | 141.0 | 0.164 | 12.30 | 8.44 | 0.89 | 0.030 |
| Valores mínimos | 121.0 | 0.041 | 5.30 | 7.46 | 0.12 | 0.008 |

Anexo 6. Control 2

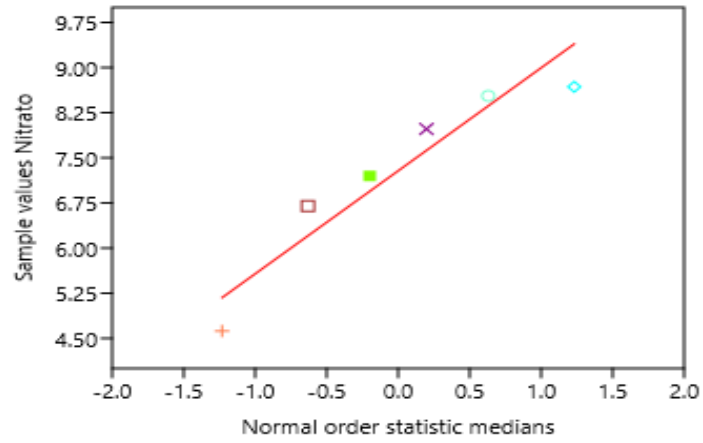
Plots de normalidad obtenida de las distintas variables de la calidad del agua analizadas.



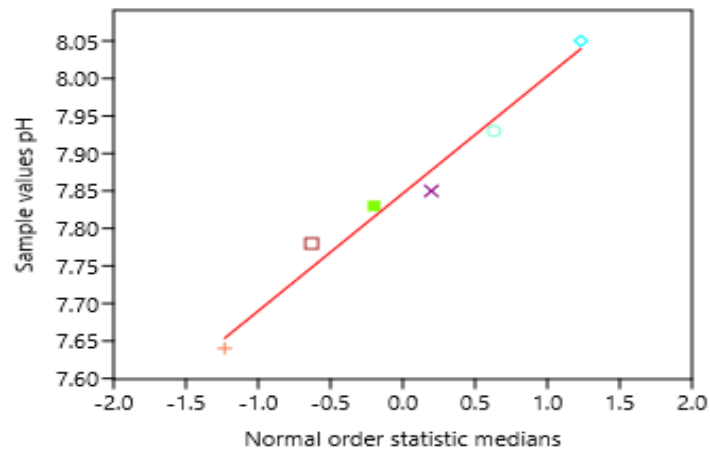
Anexo 7. Alcalinidad



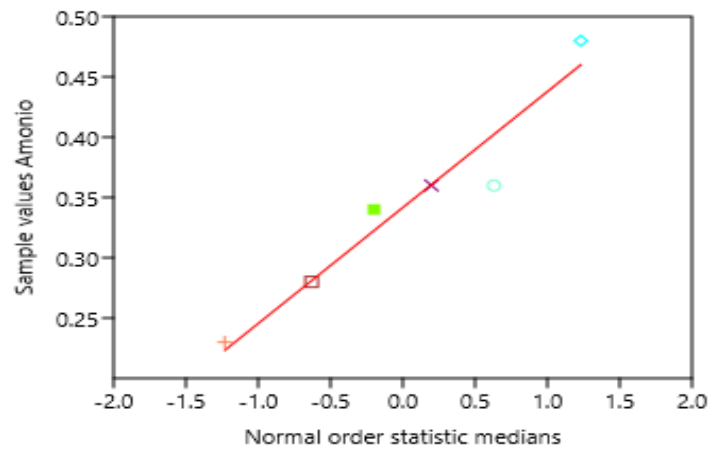
Anexo 8. Nitrito



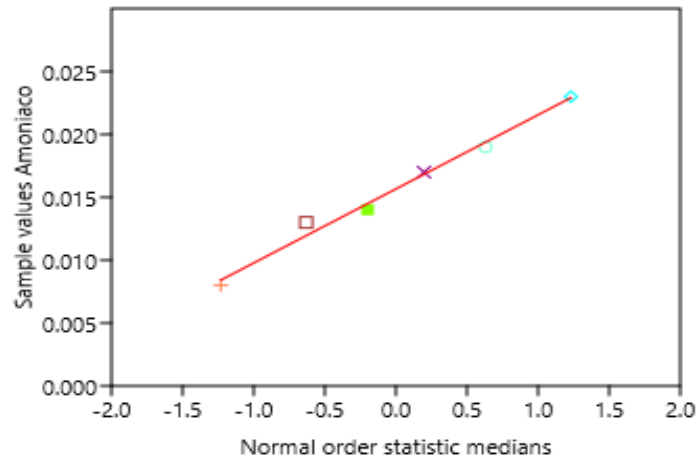
Anexo 9. Nitrato



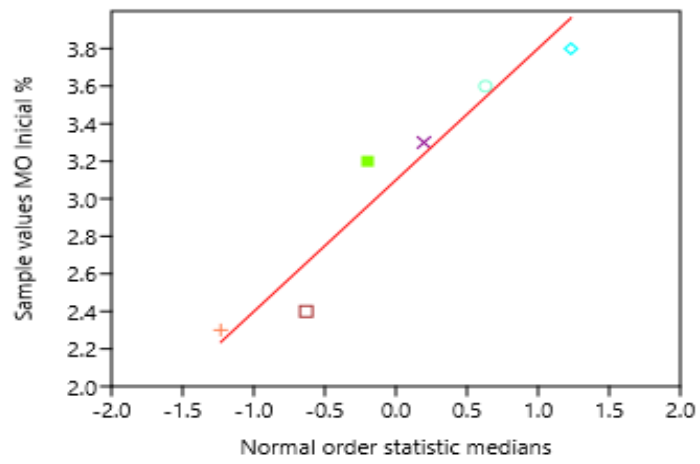
Anexo 10. pH



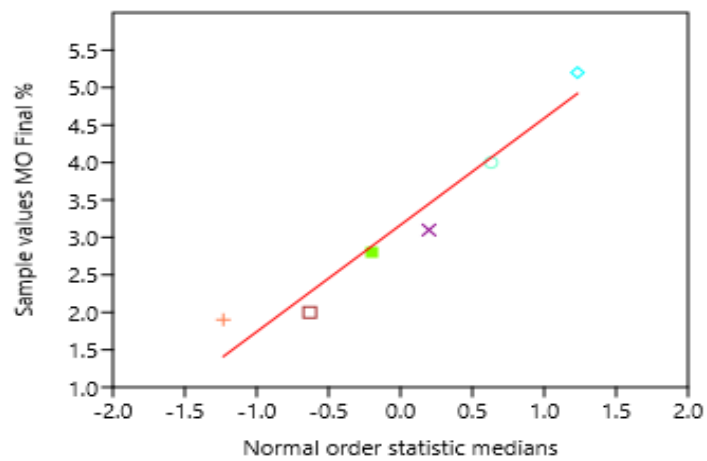
Anexo 11. Amonio



Anexo 12. Amoniaco



Anexo 13. Materia Orgánica Inicial



Anexo 14. Materia Orgánica Final

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado “Evaluación de *Bacillus spp.*, con técnica de dispersión mediante el uso de alimentadores automáticos, para minimizar la carga de materia orgánica en precrías de *Litopenaeus vannamei*”, presentado por el estudiante, Boris Arnaldo Arroyo Navarrete fue enviado al Sistema Antiplagio Compilatio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 3.6%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

Resumen

| | | |
|--------------------------------------|---|-------|
| Fragmentos marcados | 7 | 1 % |
| Fragmentos citados o entrecomillados | 2 | 0,6 % |

Coincidencias de la Web

| | | |
|----------------------|---|-------|
| rpubs.com | 2 | 0,6 % |
| trabajofinal.es | 2 | 0,4 % |
| scribd.com | 1 | 0,2 % |
| statisticseasily.com | 1 | 0,2 % |
| studocu.com | 1 | 0,2 % |
| wikipedia.org | 1 | 0,2 % |
| matemovil.com | 1 | 0,2 % |

PhD. Juan Diego Valenzuela Cobos.
TUTOR