



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

Efecto de tres productos microbianos sobre la degradación de la materia orgánica en suelo de estanques de cultivo de camarón. Una perspectiva desde trabajo de materia orgánica

**SILVA SANSÉN LEINER GABRIEL
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

Efecto de tres productos microbianos sobre la degradación de la materia orgánica en suelo de estanques de cultivo de camarón. Una perspectiva desde trabajo de materia orgánica

**SILVA SANSEN LEINER GABRIEL
INGENIERO ACUICOLA**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE ACUICULTURA

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

**Efecto de tres productos microbianos sobre la degradación de la
materia orgánica en suelo de estanques de cultivo de camarón.
Una perspectiva desde trabajo de materia orgánica**

**SILVA SANSEN LEINER GABRIEL
INGENIERO ACUICOLA**

VELASQUEZ LOPEZ PATRICIO COLON

**MACHALA
2023**

Efecto de tres productos microbianos sobre la degradación de materia orgánica en suelo de estanques de cultivo de camarón.

por leiner gabriel silva sansen

Fecha de entrega: 04-oct-2023 06:28p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2185886491

Nombre del archivo: para_turnitin.docx (6.7M)

Total de palabras: 14354

Total de caracteres: 77247

Tesis 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ucsg.edu.ec

Fuente de Internet

2%

2

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

1%

3

www.cenaim.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

4

patents.google.com

Fuente de Internet

<1%

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

El que suscribe, SILVA SANSEN LEINER GABRIEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Efecto de tres productos microbianos sobre la degradación de la materia orgánica en suelo de estanques de cultivo de camarón. Una perspectiva desde trabajo de materia orgánica, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

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

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



SILVA SANSEN LEINER GABRIEL

0706473485



UNIVERSITAS
MAGISTRORUM
ET SCHOLARIUM

RESUMEN

En acuicultura, la calidad del suelo afecta directamente al crecimiento y la supervivencia de las gambas debido a las múltiples reacciones bioquímicas que se producen en el entorno del estanque. Por lo tanto, deben mantenerse concentraciones ideales de materia orgánica durante todo el cultivo. El proceso de biorremediación se ha logrado a través de la implementación de microorganismos destinados a mejorar la calidad del suelo y del agua. La aplicación de productos comerciales para la degradación de la materia orgánica en suelos acuícolas ha mostrado gran interés debido a su eficacia y al tipo de organismo. El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de tres productos comerciales (PA-PB-PC) sobre la biodegradación de materia orgánica en suelos durante un periodo de 48 horas.

Se utilizó un experimento de Diseño Completamente Aleatorizado para evaluar la degradación de la materia orgánica y el flujo de nutrientes disueltos en el agua. Durante el experimento, variables como la concentración de materia orgánica, el flujo de nutrientes (amonio, nitrito, nitratos y fosfatos) y parámetros físico-químicos (oxígeno, pH y temperatura).

Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que los tres productos disminuyeron significativamente la concentración de materia orgánica en el suelo. La mayor eficiencia de reducción se obtuvo en el tratamiento PA con un 67,25%. En cuanto al flujo de nutrientes, después de 48 horas se observó una reducción del amonio en todas las muestras.

La concentración de nitrito y nitrato se redujo en PB, PA y PC. Se observó un aumento de la concentración de fosfato, superando el valor inicial. El oxígeno disuelto y el pH disminuyeron durante el experimento. En conclusión, el uso de bacterias beneficiosas fue eficaz para reducir la materia orgánica en el suelo y mejorar el flujo de nutrientes en el agua.

Palabras clave: Suelo, biorremediación, bacteria, materia orgánica, oxígeno disuelto.

ABSTRACT

In aquaculture, soil quality directly affects the growth and survival of shrimp due to the multiple biochemical reactions that occur in the pond environment. Therefore, ideal concentrations of organic matter must be maintained throughout the culture. The process of bioremediation has been achieved through the implementation of microorganisms destined to improve the quality of the soil and water. The application of commercial products for the degradation of organic matter in aquaculture soils has shown great interest due to their effectiveness and the type of organism. The present study aimed to determine the effect of three commercial products (PA-PB-PC) on the biodegradation of organic matter in soils over a period of 48 hours.

A Completely Randomized Design experiment was used to evaluate organic matter degradation and the flux of nutrients dissolved in the water. During the experiment, variables such as organic matter concentration, nutrient flux. (Ammonium, nitrite, nitrates and phosphates) and physical-chemical parameters (oxygen, pH and temperature) were recorded.

The results obtained in the present study showed that the three products significantly decreased the concentration of organic matter in the soil. The higher reduction efficiency was obtained in the PA treatment with 67.25%. Regarding nutrient flux, after 48 hours a reduction of ammonium was observed in all samples. The nitrite and nitrate concentration were reduced in PB, PA and PC. An increase in phosphate concentration was observed, exceeding the initial value. The dissolved oxygen and pH decreased during the experiment. In conclusion,

the use of beneficial bacteria was effective to reduce organic matter in the soil and enhance the flux of nutrients in the water.

Keywords: Soil, bioremediation, bacteria, organic matter, dissolved oxygen.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	I
ABSTRACT.....	III
CAPITULO I	1
1 Introducción.....	1
2 Planteamiento del problema	4
3 Justificación.....	5
4 Objetivos.....	6
4.1 Objetivo general	6
4.2 Objetivos específicos	6
4.3 Hipótesis.....	6
capitulo ii	7
5 Revisión bibliográfica	7
5.1 Métodos de producción de Camarón en Ecuador	7
5.3.1 Producción extensiva de camarón.....	7
5.2 Suelos acuícolas	9

5.2.1.4	Suelos sulfatados	14
5.3	Sedimento.....	15
5	Sedimento en estanques acuícolas.....	16
5.4	Materia orgánica.....	17
5.5	Biorremediación	24
5.6	Diferencia entre la biodegradación y la biorremediación	26
5.7	Biorremediación del sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	27
5.8	Utilización de agentes de biorremediación	28
5.9	Bacterias clave en la degradación de materia orgánica en la acuicultura	31
5.10	En que se basa la eficiencia de productos	31
5.11	Efectividad de productos degradadores de materia orgánica	32
5.12	Aplicación de productos biorremediadores	34
5.13	Metodología de investigación referente al uso de microorganismos utilizados para la degradación Materia orgánica.....	36
CAPITULO III.....		38
6	Materiales y Métodos	38
6.1	Ubicación de área de estudio.....	38
6.2	Materiales.....	38
6.3	Métodos.....	39

6.3.1	Obtención de suelo con materia orgánica	39
6.4	Diseño experimental.....	44
6.4.3	Análisis de agua	46
6.4.4	Análisis estadísticos	47
7	Resultados.....	48
7.3	Materia orgánica.....	48
7.3.2	Reducción de materia orgánica	48
7.3.3	Efecto de biorremediación en degradación de materia orgánica (MO), mediante el uso de tres productos microbianos.	49
7.4	Flujo de Nutrientes.....	53
7.4.2	Amonio.....	53
7.4.3	Nitritos.....	54
7.4.4	Nitratos.....	55
7.4.5	Fosfato.....	56
7.5	Parámetros físicos-químicos de control	57
7.5.2	Oxígeno	57
7.5.3	pH.....	60
7.5.4	Temperatura	61
8	Discusión	65

8.3	Biorremediación de materia orgánica del suelo mediante productos microbianos.	
	65	
8.4	Análisis físico-químico de agua residual acuícola, bajo el efecto de biorremediación mediante productos microbianos.	66
9	conclusión.....	69
10	BIBLIOGRAFÍA	70
11	ANEXO	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño de cultivo de camarón en la que se observa la materia orgánica.	18
Figura 2 Destino del aporte de materia orgánica en el estanque.....	20
Figura 3 Diseño de bandeja para biorremediación	40
Figura 4 Diseño experimental para el estudio de la materia orgánica en el suelo con réplicas y control	45
Figura 5 Diseño experimental para el ensayo de medición de nutrientes en el agua.....	46
Figura 6 Porcentaje de reducción de MO en suelos con aplicación de tres productos microbianos.....	48
Figura 7 Promedio y desviación estándar de datos de MO en el suelo con tres productos microbianos.....	53
Figura 8 Variación de concentración de amonio (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	54
Figura 9 Variación de la concentración de nitritos (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	55
Figura 10 Variación de la concentración de nitratos (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	56

Figura 11 Variación de la concentración de fosfato (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	57
Figura 12 Variación de concentración de oxígeno disuelto en el agua (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos	58
Figura 13 Concentración de oxígeno disuelto, durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	59
Figura 14 Variación de concentración de pH durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	60
Figura 15 Variación de pH, durante 48 hora de acción de tres productos microbianos	61
Figura 16 Variación de Temperatura, durante 48 hora de acción de tres productos microbianos.....	62
Figura 17 Variación de temperatura, durante 48 horas de acción de tres productos microbianos.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del suelo que impactan a la gestión de estanques acuícolas.....	23
Tabla 2 Experimentos con sus variables a medir y técnicas analíticas utilizadas	46
Tabla 3 Estadísticos descriptivos del contenido de MO en el suelo tratado con diferentes productos microbianos.....	49
Tabla 4 Prueba de normalidad para la comparación de MO, entre los diferentes productores microbianos (PA, PB y PC)	50
Tabla 5 ANOVA de un factor Inter grupos para la comparación de MO, entre los diferentes productos microbianos de PA, PB y PC.	52

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1 Obtención de muestra de suelo en piscina camaronera.....	85
Anexo 2 Homogenización de muestra de suelo más balanceado.	85
Anexo 3 Aplicación de fermento de productos comerciales PA, PB y PC en suelo.	85
Anexo 4 Preparación de unidad experimental inicio del experimento.	85
Anexo 5 Biorremediación de suelo durante 48 hora.....	86
Anexo 6 Medición de pH y temperatura mediante la actividad bacteriana.	86
Anexo 7 Secado de muestra de suelo a 600oC por 1 hora (mufla).....	86
Anexo 8 Secado de muestra de suelo a 90oC por 2 horas (estufa).	86
Anexo 9 Preparación de unidad experimental inicio del experimento.	87
Anexo 10 Muestra de suelo para determinar materia orgánica.....	87
Anexo 11 Medición de nutrientes NO ₂ , NO ₃ , PO ₄	87
Anexo 12 ANEXO K Medición de sustancia toxica (Amonio).....	87

CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

Una de las actividades de producción más prominentes a nivel global es el cultivo de *Litopenaeus vannamei*, que abarca más de 220.000 hectáreas de cultivo y 3.100 millones de dólares de facturación anual, el negocio camaronero ecuatoriano representa el 15% de todas las exportaciones. Durante el período 2016 a 2019, la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España realizó un análisis detallado de esta información.

Según la Cámara Nacional de Acuicultura, la cría de camarones en la región de El Oro persiste como una de las dos principales actividades industriales locales, abarcando el 40% de la producción a nivel nacional. Debido a esto, los productores de camarón frecuentemente utilizan varias opciones para maximizar la acuicultura en el cantón de Santa Rosa en un esfuerzo por seguir siendo competitivos.

Dependiendo el sistema de cultivo implementado para la producción de camarón, ya sea cultivos extensivos, semi-intensivos e intensivos el aporte de materia orgánica será mayor debido a las mayores densidades utilizadas, la introducción de insumos acuícolas y el aporte de mayores cantidades de alimento balanceado para cubrir las necesidades alimenticias de los organismos cultivados.

Los camarones son considerados como organismos frágiles, susceptibles al estrés frente a condiciones desfavorables en su entorno. Esta sensibilidad al estrés puede generar efectos adversos en el organismo como la disminución del apetito, un crecimiento lento y una mayor

vulnerabilidad a enfermedades. Por lo cual surge la necesidad de mantener los parámetros físicos y químicos en los estanques en condiciones óptimas. De esta manera, se podrá asegurar una elevada tasa de supervivencia, conversión eficiente de alimento y, en consecuencia, un aumento en la producción final.

Dentro de los elementos esenciales para el crecimiento de los organismos tenemos: al sedimento presente en el estanque de producción, ya que la condición del suelo ejerce una influencia significativa en la calidad de agua y productos final de cosecha. En los suelos de los estanques acuícolas, es esencial evaluar principalmente el contenido de materia orgánica y el potencial de hidrogeno (pH). Por esta razón a surgido la necesidad de implementar técnicas que permitan reducir el porcentaje de materia orgánica dentro de los estanques, siendo la biorremediación la técnica más ampliamente usada dentro del sector acuícola, gracias a sus resultados positivos en la reducción de materia orgánica dentro de los sistemas acuícolas.

La biorremediación es un proceso que posibilita la degradación de la materia orgánica (MO) con el propósito de mejorar la calidad de suelo en un estanque destinado a la cría de camarón, mediante el uso de productos elaborados con bacterias, mediante este tipo de procedimiento nos permite tener un suelo sano de mejor calidad para producir organismos acuáticos de manera óptima, esta estrategia nos permite eliminar desechos peligrosos que pueda afectar a los organismos cultivados, evitando que el camarón contraiga alguna enfermedad provocada por la acumulación excesiva de materia orgánica.

La MO sirve de sustrato a una gran variedad de agentes patógenos, lo cual provocara que exista mortalidades significativas en el cultivo ocasionando considerables pérdidas económicas al productor, por eso en la zona acuícola utilizan esa herramienta prometedora para el tratamiento in situ de las aguas de mala calidad y los sedimentos contaminados que se encuentra en el fondo de la piscina. En Ecuador varias empresas están produciendo, comercializando e importando estos productos, ofreciendo una diversa selección de insumos, los cuales serán efectivos dependiendo del grado de afectación que cada granja acuícola tenga.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los productores de camarón buscan generar cultivos de una manera más amigables con el medio ambiente por su importancia económica, tomando en cuenta los dos factores abióticos más importante para el cultivo que son agua y suelo, en este caso, el suelo es uno de los temas que casi no se toma en cuenta, y en especial en la acumulación de materia orgánica que se genera rápidamente al cultivar y no esperar una preparación adecuada. El cuidado del suelo debe tener un carácter prioritario, ya que la acumulación de materia orgánica podría acarrear pérdidas económicas. Esta situación exige la implementación de métodos de biorremediación mediante la aplicación de productos como PA, PB y PC, a base de bacterias benéficas para la degradación de MO con el objetivo de optimizar y proporcionar resultados más favorables en el proceso de cultivo.

3 JUSTIFICACIÓN

El fondo inicial del estanque generalmente está formado por suelo, que se humedece cuando el estanque se llena de agua. Los sólidos se asientan fuera del agua y cubren el fondo del estanque con limo, que puede tener varios centímetros de profundidad en estanques más antiguos. Como resultado, el término limo se usa con frecuencia para describir los sedimentos en el fondo de un estanque.

La mayoría de los suelos son suelos minerales, aunque incluyen algo de materia orgánica. La sección surcada (15-20 cm superior) de los suelos minerales utilizados para la acuicultura rara vez tiene más del 5-6% de materia orgánica, y las concentraciones de materia orgánica son generalmente significativamente más bajas en climas tropicales y subtropicales. En lo que respecta a los suelos de los estanques utilizados en la acuicultura, la acumulación de materia orgánica constituye un grave problema, debido a que su tratamiento no puede llevarse a cabo en un lapso adecuado, lo que resulta en un aumento inmediato de su contenido. Este aumento perjudica no solo a los organismos en cultivo, sino que también genera un impacto negativo en el entorno ambiental. Por esta razón, a través del presente trabajo de titulación se buscan soluciones que puedan reducir la cantidad de materia orgánica en el suelo a través de su descomposición. Esto conlleva ventajas tales como la prevención de mortalidades, el cultivo de organismos saludables y la minimización del impacto medioambiental.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar el efecto de tres productos microbianos en la degradación de la materia orgánica en suelos de piscinas camaroneras.

4.2 Objetivos específicos

- Comparar el efecto de tres productos microbianos en la degradación de la materia orgánica en piscinas camaroneras.
- Determinar el tiempo de degradación de materia orgánica mediante los productos microbianos.

4.3 Hipótesis

La utilización de productos microbianos disminuye la proporción de materia orgánica en el suelo de piscinas de cultivo de camarón.

CAPITULO II

5 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1 Métodos de producción de Camarón en Ecuador

En Ecuador, se utiliza principalmente el método de cría extensiva y semi-intensiva para la producción comercial de camarones, lo cual ha brindado un mayor control sobre la calidad del agua y los sedimentos en los estanques destinados a la cría de camarones, en contraste con otros países que emplean sistemas de cultivo más intensivos. Estos sistemas intensivos a menudo resultan en la degradación del suelo, lo que conlleva a un entorno poco propicio para el crecimiento de los camarones. En estos casos, es común que se requiera aplicar enmiendas correctivas para mejorar la calidad de los sedimentos y agua en los estanques (Murcia, 2020).

5.3.1 Producción extensiva de camarón

Los sistemas de cultivo extensivo se llevan a cabo en piscinas de tierra que abarcan un rango de tamaño de 2 a 20 hectáreas, y su estructura es simple debido a su construcción rudimentaria. Además, carecen de un control y supervisión por parte de expertos técnicos, sistemas de aireación, aporte de alimento externo y fertilizantes. Esto se debe a que las densidades de cultivo en estos sistemas son bajas, fluctuando entre 1 y 3 camarones por metro cuadrado. En consecuencia, los organismos en crecimiento se sustentan principalmente con el alimento natural presente en el estanque, lo que resulta en una producción limitada al final del ciclo de cultivo. A pesar de estas limitaciones, estos sistemas requieren un mantenimiento

mínimo, lo que lleva a una acumulación reducida de materia orgánica y una degradación gradual del sedimento de la piscina (Murcia, 2020).

5.3.2 Producción semi-intensiva de camarón

Este método de cultivo es ampliamente adoptado para la cría de camarones en muchas regiones de América Latina. Se desarrolla en piscinas de tierra que varían en tamaño, generalmente entre 1 a 5 hectárea. Se emplean larvas de camarón provenientes de laboratorios certificados, sembradas a densidades que oscilan entre 10 a 30 larvas por metro cuadrado (PL/m²). En este sistema, se aplican estrategias de fertilización, supervisión técnica, suministro de alimento externo y la instalación de aireadores.

La necesidad de reemplazar el agua de manera periódica es crucial para obtener rendimientos de alrededor de 500 a 2000 kg por hectárea, lo que usualmente se traduce en dos cosechas anuales. A pesar de sus mayores rendimientos, este sistema también enfrenta desafíos. La densidad de cultivo más alta conlleva a una acumulación incrementada de materia orgánica y la descomposición del sedimento del estanque al final de la cosecha. Este proceso se origina debido al aumento en la densidad de organismos cultivados, resultando en una mayor presencia de desechos provenientes de mudas, excrementos y alimento no consumido. Estos residuos se acumulan y descomponen, liberando compuestos metabólicos tóxicos en el ambiente. Esto puede generar una acidificación del entorno y la formación de áreas con falta de oxígeno (zonas anóxicas) en el agua (Murcia, 2020).

5.3.3 Producción intensiva de camarón

Los sistemas intensivos se destacan por mantener densidades de cultivo elevadas, alcanzando valores de 30 a 40 larvas por metro cuadrado (PL/m²). Para lograr estas densidades, suele requerirse un promedio de 6 aireadores por hectárea para incrementar los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Además, se suministra una dieta de alto contenido proteico, ya que esta es la única fuente de alimento disponible para los organismos bajo cultivo. Sin embargo, con una gestión acuícola sólida y un manejo eficiente, estos sistemas de producción pueden incluso lograr tasas de producción aún más elevadas, con un promedio anual de tres ciclos. Es esencial considerar que estos sistemas generan cantidades significativas de desechos orgánicos debido a las densidades de cultivo intensas. En este contexto, es importante destacar que el alimento no consumido es la principal fuente de materia orgánica en este sistema de producción (Murcia, 2020).

5.2 Suelos acuícolas

En los estanques acuícolas, el suelo desempeña un papel crucial en su funcionamiento. Sin embargo, los sedimentos de estos estanques se originan a partir del suelo terrestre, y sus características difieren. La acumulación de partículas en suspensión debido a las corrientes, así como los sólidos suspendidos y la materia orgánica proveniente de la actividad de cultivo, se asientan en el fondo creando una capa conocida como sedimento. Además, es común que, compuestos como hidróxidos férricos, carbonatos y fosfatos, que están presentes en el agua, se precipiten y depositen en el fondo de los estanques. Esta capa sedimentaria funciona como receptora de residuos generados por los productos aplicados en

los estanques, lo que contribuye a la complejidad del sustrato del fondo de los estanques (Boyd, 2019).

5.2.1 Características del suelo en piscinas camaroneras

Al construir estanques acuícolas, es esencial considerar una baja concentración de materia orgánica (MO) para reducir la demanda de oxígeno disuelto durante el proceso de cultivo. De acuerdo con Boyd (2019), la mayoría de los estanques acuícolas consisten en suelo mineral con un contenido de MO que no supera el 10% al 5%. Además, la MO contiene un 58% de carbono total, lo que resulta en concentraciones de carbono orgánico (CO) en el sedimento que generalmente son menores al 4% en los lechos de los estanques. En contraste, en estanques recién establecidos, estas concentraciones suelen ser aún más bajas, llegando a alrededor del 0,25% (Joyni et al., 2011). Por otro lado (Wu et al., 2023) reportaron que las concentraciones promedio de CO en un total de 74 piscinas de cultivo de camarón ubicadas en Ecuador fueron de 2,4%.

La acumulación de materia orgánica (MO) en el fondo de los estanques produce un impacto beneficioso en el cultivo, ya que brinda una fuente de carbono que favorece el crecimiento de organismos bentónicos. Estos organismos actúan como alimento natural para camarones y peces. Según (Vélez & Álvarez, 2020), los factores como las características de los residuos, los tipos de descomponedores y la calidad del entorno son variables que influyen en la degradación de la MO.

El microbioma del suelo varía según el tipo de suelo y es especialmente eficiente en la degradación de materiales orgánicos. Sin embargo, algunos de estos residuos se

descomponen más rápidamente que otros. En el sedimento, la MO puede ser dividida en dos formas distintas: la materia orgánica lábil, que se descompone rápidamente, y la refractaria, que tiene una descomposición más lenta (Boyd, 2019). Durante el proceso de degradación de la materia orgánica, la fracción lábil es consumida con facilidad por la comunidad microbiana, mientras que la fracción recalcitrante se descompone de manera más pausada y tiende a acumularse en el sedimento.

5.2.1.1 Composición del suelo en estanques de producción de *L. vannamei*

La composición de los suelos en los estanques de cría de *L. vannamei* puede experimentar una amplia variabilidad debido a la acumulación de diversas partículas y sustancias a lo largo del ciclo de cultivo. Estas variaciones están vinculadas a prácticas de manejo con densidades de cultivo elevadas y a diferentes enfoques en fertilización y alimentación. Por lo tanto, en el estudio de estos ecosistemas, las variables más relevantes incluyen la acidez del sedimento, el pH y la carga de microorganismos. Esto se debe al impacto directo que tienen en la calidad del agua y en la salud de los organismos bajo cultivo (Mamidala et al., 2021).

En el cultivo de camarones a densidades elevadas, la principal preocupación es la acumulación de materia orgánica (MO) en el sedimento de los estanques. Esta acumulación ocurre porque el proceso de descomposición llevado a cabo por el microbiota bacteriano demanda una cantidad significativa de oxígeno disuelto, especialmente cuando ocurre de manera aeróbica. Como resultado, esta actividad desencadena indirectamente una

acumulación de oxígeno en el fondo de las piscinas, generando condiciones hipóxicas y ácidas (Rivera, 2020).

Mantener una supervisión continua y regular de los parámetros vinculados a la calidad del agua y los sedimentos en los estanques destinados a la cría de camarones resulta esencial. Esta práctica permite anticipar y ajustar las diversas condiciones requeridas para el adecuado desarrollo de la acuicultura. Al hacerlo, se evita la interrupción del cultivo y la degradación del entorno. Por lo tanto, la calidad y cantidad de los sedimentos presentes en las diferentes piscinas acuícolas se relacionan con la productividad y la intensidad de la gestión, ya que juegan un papel fundamental en el proceso de mineralización de la materia orgánica (Mamidala et al., 2021).

5.2.1.2 *Texturas del suelo*

La textura del suelo se refiere a la composición relativa de grava, arcilla, limo y arena presentes en él. La proporción de cada uno de estos componentes y el tamaño de las partículas en última instancia determinan el tipo de textura que caracteriza al suelo (Wang et al., 2021). En el caso de los suelos utilizados en estanques acuícolas, se sugiere que contengan alrededor del 20 al 10% de arcilla, una medición que puede realizarse mediante el uso de un triángulo de textura de suelos. Es crucial conocer la cantidad de arcilla presente en el suelo debido a que esta fracción posee una reactividad que influye en la materia orgánica presente en el suelo (Berrocal et al., 2021).

5.2.1.3 Calidad de suelo

La calidad del suelo se posiciona como un factor abiótico de gran importancia para la cría de organismos acuáticos. Su capacidad para operar dentro de los parámetros de un ecosistema resulta fundamental para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y fomentar la salud de seres vivos, tanto animales como vegetales. La calidad del suelo se ve influida por las intensidades de manejo a lo largo de un ciclo de producción y las prácticas empleadas para gestionarlo (Arias et al., 2020).

La calidad del suelo ofrece la posibilidad de rastrear y evaluar sus propiedades previas y posteriores a una actividad específica, lo que lo convierte en un concepto operativo crucial para monitorear y comprender el grado de degradación. Hay dos enfoques para evaluar la calidad del suelo: la observación directa y el análisis de laboratorio. Este último método permite cuantificar diversos indicadores como la conductividad eléctrica, materia orgánica, potencial redox y capacidad de intercambio catiónico, los cuales nos brindan información precisa sobre la calidad del suelo (Juárez et al., 2022).

Una de las razones principales detrás del aumento en la acumulación de materia orgánica en el suelo radica en la intensificación de la producción en sistemas acuícola. Esta intensificación conlleva a un aumento significativo del carbono orgánico en las piscinas de producción, alcanzando un incremento del 87%. Se recomienda llevar a cabo evaluaciones que permitan determinar la calidad del suelo. Este proceso implica la realización de análisis de suelo en un laboratorio, que involucra el secado de las muestras, su posterior trituración

en un mortero de porcelana, tamizado, almacenamiento en un recipiente plástico y, finalmente, la realización del análisis físico-químico necesario (Flores et al., 2021).

5.2.1.4 Suelos sulfatados

Los gases tóxicos que representan un peligro para los organismos en cultivo, como el sulfuro de hidrógeno (H₂S), tienen su origen en la acumulación excesiva de materia orgánica en los fondos de las piscinas. En suelos anaeróbicos con concentraciones moderadas de materia orgánica, se generan niveles elevados de H₂S. Este compuesto es letal incluso en concentraciones bajas, ya que afecta directamente la función respiratoria de los organismos (Fitrani et al., 2020). La forma más tóxica del H₂S para los seres acuáticos es su estado no ionizado, y su toxicidad se compara con la del amoníaco. Por ejemplo, en piscinas con un pH de 7.5, aproximadamente el 14% del sulfuro se encuentra en su forma más tóxica (H₂S). En un estanque con un pH de 6.5, esta fracción tóxica se incrementa significativamente hasta alcanzar el 61% (Leal et al., 2023).

Si al final de la cosecha, el suelo de la piscina emite un olor similar al de los huevos podridos y presenta un color negro, esto puede indicar la presencia de altas concentraciones de H₂S y condiciones anóxicas en las áreas afectadas. Los suelos sulfatados tienden a ser altamente ácidos y exhiben una elevada disponibilidad de aluminio intercambiable, especialmente cuando su porcentaje de saturación es inferior al 50 % (Fitrani et al., 2020). En la actualidad, se están construyendo nuevas piscinas en zonas de manglares y humedales, lo cual puede generar problemas durante el cultivo. Estos suelos contienen pirita de hierro que, al oxidarse, libera ácido sulfúrico. Aunque estos suelos pueden tener un pH de entre 5 y

7 cuando están inundados y reducidos, una vez que se drenan y quedan expuestos a condiciones aeróbicas, el pH puede disminuir a valores de 3 o incluso 2. Las complicaciones asociadas a este tipo de suelo incluyen la mortalidad de los organismos, baja supervivencia, productividad limitada y crecimiento deficiente (Leal et al., 2023).

5.2.1.5 Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno se considera de gran relevancia en los sedimentos anóxicos. En condiciones aeróbicas, el azufre provoca la descomposición del sulfuro, además de oxidar los sulfatos, que son altamente solubles en agua, lo que resulta en su dispersión en el sedimento. Esta oxidación del sulfuro está mediada por microorganismos presentes en el sedimento, y estos procesos son conocidos como reacciones químicas (Torun et al., 2020).

Mientras que en circunstancias anaerobias este sulfato puede ser utilizado como oxígeno, pero en el metabolismo microbiano y este es otro proceso del cual conlleva la producción de gas sulfuro de hidrogeno producido por reducciones microbianas (Torun et al., 2020).

5.3 Sedimento

Los desechos sólidos o sedimentos se dividen además en dos categorías; sólidos en suspensión y sólidos sedimentados. Los sólidos en suspensión son partículas finas que permanecen suspendidas en el agua de cultivo excepto cuando se utiliza el método de sedimentación. Este tipo de lodo es muy difícil de descargar del agua de cultivo (Chen et al., 2023).

Los sólidos son partículas más grandes que se asientan en un corto período de tiempo y son muy fáciles de eliminar (Lopes, 2021). Ambos tipos de desechos sólidos son peligrosos en el sistema de cultivo y deben eliminarse tan pronto como se acumulen en el agua de cultivo para mantener una buena calidad del agua. Esto se debe a que el sedimento contiene un alto volumen de sólidos totales y sólidos totales disueltos con una alta concentración de compuestos nitrogenados. Esto dará como resultado un aumento de la actividad bacteriana aeróbica que eventualmente reducirá la cantidad de oxígeno en el medio de cultivo (Chen et al., 2023).

5 Sedimento en estanques acuícolas

En los sedimentos, es recomendable que el pH se mantenga generalmente por encima de 7. Esto se debe a que suele ingresar una cantidad sustancial de oxígeno disuelto desde la columna de agua, lo que facilita la descomposición de la materia orgánica que llega a los estanques. Aproximadamente el 90% de esta materia orgánica se descompone no al comienzo, sino hacia el final del ciclo de cultivo acuícola, cuando se realiza el drenaje del estanque. Sin embargo, una pequeña porción de esta materia orgánica persiste en los sedimentos cuando los estanques se secan entre cosechas. La descomposición de la materia orgánica remanente tiene lugar durante este período (Feng et al., 2022).

En un estanque acuícola, la materia orgánica puede aumentar su espesor en aproximadamente un centímetro por año. Sin embargo, es importante destacar que solo la capa superior de sedimentos, que tiene un espesor de cuatro a cinco centímetros, intercambia

sustancias con la columna de agua. La materia orgánica reactiva en esta capa se descompone durante los intervalos entre cosechas (Lopes, 2021).

Por lo general, la acumulación excesiva de materia orgánica no suele generar problemas a lo largo del tiempo. Sin embargo, es importante considerar que la descomposición de la materia orgánica fresca demanda mayores cantidades de oxígeno. Dado que existe un límite en la cantidad de oxígeno disponible, es esencial encontrar una solución. En este caso, una adecuada aireación mecánica se vuelve crucial, ya que aumenta el nivel de oxigenación necesario para que la materia orgánica se descomponga de manera efectiva durante el ciclo de cultivo (Chen et al., 2023).

5.4 Materia orgánica

Uno de los principales desafíos que enfrentan los productores acuícolas es la acumulación de materia orgánica en el fondo de las piscinas, originada por los desechos y las deposiciones de los animales. Este problema surge debido al aumento en las densidades de población de los organismos cultivados y al incremento en la utilización de insumos acuícolas en el proceso de cría (Coello et al., 2020).

La acumulación de materia orgánica en el sustrato de los sistemas acuícolas destinados al cultivo de camarón ha sido un tema de interés y preocupación durante un prolongado período. A través de los avances alcanzados en el campo de la acuicultura, se ha logrado desarrollar enfoques y estrategias que han demostrado ser efectivos para abordar y mejorar esta problemática. Estos métodos involucran tratamientos específicos que deben ser implementados tanto antes del inicio como a lo largo del ciclo productivo de cada estanque

de cría de camarones. El objetivo principal es reducir la acumulación de materia orgánica derivada de ciclos de cultivo previos y, por ende, favorecer la salud y el estado del sustrato acuático (Hasibuan et al., 2023).

En la actualidad, todos los sistemas empleados para la cría de camarones conllevan la generación de materia orgánica como subproducto del metabolismo de los organismos. Esta materia orgánica se deposita en el fondo de los estanques, impactando negativamente en la calidad del suelo y dando lugar a una demanda de oxígeno en la zona de interfaz entre el sedimento y el agua, donde tiene lugar la descomposición microbiana de dicha materia orgánica (Shafi et al., 2021).

Figura 1 Diseño de cultivo de camarón en la que se observa la materia orgánica.



Fuente: Imagen extraída de internet

Nota: La biorremediación es una técnica que utiliza microorganismos vivos para la degradación de materia orgánica y otros metabolitos tóxicos que causan daños en la producción acuícola (Boyd, 2019).

5.4.1 Materia orgánica en el fondo de criadero acuícolas

La degradación microbiana está influida por la calidad del material inorgánico presente en los estanques de acuicultura. El material vegetal en descomposición, al ser fibroso y de tamaño reducido, exhibe un potencial beneficioso para esta degradación. A diferencia de organismos como el fitoplancton, que tiene una baja proporción de carbono y nitrógeno, este material no requiere utilizar recursos celulares para mantenerse, lo que lo hace favorable para la degradación. Además, las heces poseen una relación favorable y una estructura que facilita su descomposición. Es importante destacar que en la mayoría de los estanques, se aplica fertilizante de nitrógeno, el cual puede ser transformado por bacterias, contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica (Burbano et al., 2021).

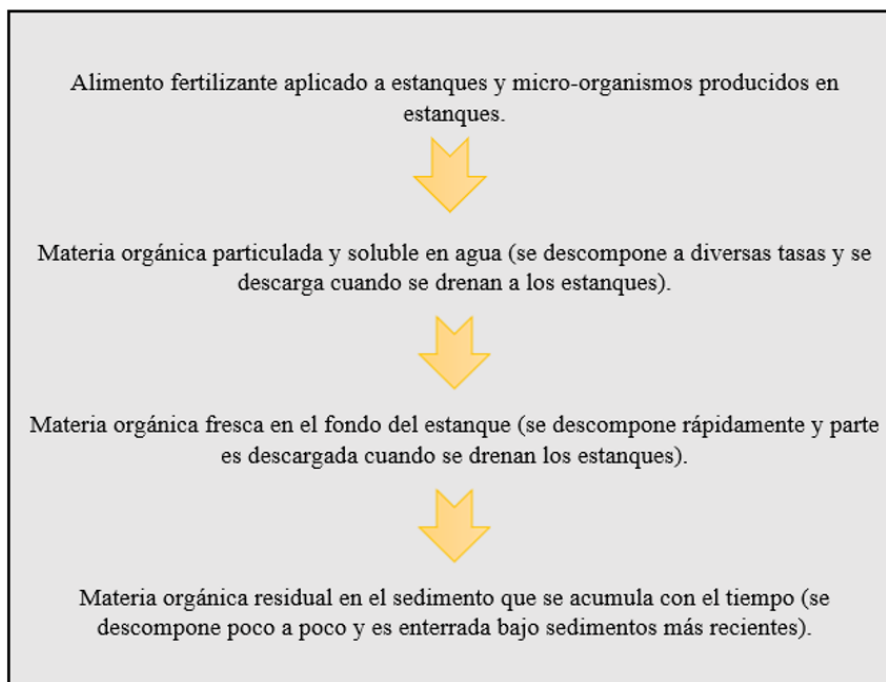
La materia orgánica está conformada por carbohidratos, grasas y proteínas, que son propensos a la descomposición. Sin embargo, también incluye componentes resistentes a la descomposición. Durante el ciclo de cultivo, la fracción lábil de la materia orgánica, es decir, la porción que se descompone con facilidad es prácticamente completamente degradada por las bacterias presentes en el cultivo (Widiyanto et al., 2020).

No obstante, se produce una degradación de la materia orgánica cuando se permite un período de descanso, conocido como barbecho, durante las primeras 2 o 3 semanas entre cosechas. La fracción refractaria de la materia orgánica se descompone de manera lenta, aunque rara vez genera complicaciones en los sistemas acuícolas (Chaverra, 2022).

Se afirma que el sedimento tiene 3 partes las cuales se puede observar, la primera que es zona de oxidación en la cual el oxígeno prevalece, la segunda intermedia y la tercera en la

cual no entra oxígeno y lleva el nombre de zona reducida, pero en vez de este se lo reemplaza al oxígeno con el nitrato o sulfuro (Widiyanto et al., 2020).

Figura 2 Destino del aporte de materia orgánica en el estanque



Fuente: Boyd (2016)

5.4.2 Formación de lodo y materia orgánica

Los lodos en la acuicultura son desechos sólidos que están conformados por compuestos nitrogenados, carbono orgánico disuelto y fósforo. Por otro lado, la materia orgánica está compuesta por material vegetal en descomposición, bacterias, hongos, protozoarios, residuos de antibióticos y productos profilácticos (Jasmín et al., 2020).

Oliveira, (2021) plantea que la procedencia de la materia orgánica que se encuentra en los sistemas de producción acuícola surge como resultado de la acumulación de elementos

como el alimento no consumido, los fertilizantes orgánicos, las excretas y los organismos fallecidos. Además, el autor destaca que esta materia orgánica puede ser clasificada en dos categorías: lábil y recalcitrante. La fracción lábil se caracteriza por su rápida descomposición y está compuesta por componentes como proteínas, glucosa, almidón y celulosa. Por otro lado, la fracción recalcitrante se descompone de manera más lenta y está constituida por una combinación de elementos como taninos, ceras, ácidos húmicos y lignina.

5.4.3 Degradación de la materia orgánica

Los parámetros más significativos relacionados con la descomposición de la materia orgánica abarcan:

- La temperatura
- pH
- Composición química de la materia (C)
- Oxígeno disuelto

A temperaturas elevadas, la degradación de la materia orgánica suele ser más efectiva y rápida, generalmente en el rango de 30 a 35 grados centígrados. Además, un pH de 7 a 8.5 favorece un funcionamiento óptimo de las bacterias en el proceso de descomposición. Sin embargo, es común que los estanques acuícolas sean tratados con cal para mantener un pH normal de alrededor de 7 y dispongan de niveles adecuados de oxígeno disuelto en la columna de agua, lo que facilita la descomposición de la materia orgánica (Acevedo et al., 2021).

5.4.4 Reducción y oxidación

Primeramente, comenzaremos con el sedimento, los conceptos básicos ya expuestos en la parte de la introducción nos servirán como base para la explicación de lo que vamos a leer a continuación. Cuando nos referimos al sedimento, estamos describiendo un ecosistema que engloba detritos, organismos bentónicos y minerales inorgánicos. Para mantener un equilibrio en este ecosistema, es crucial considerar factores como el pH, ya que la solubilidad del dióxido de carbono depende en gran medida de este parámetro. Además, el carbono inorgánico desempeña un papel fundamental, ya que puede conducir a la precipitación del carbonato de calcio a partir del bicarbonato. Esta forma particulada de carbonato de calcio es especialmente relevante, ya que tiene la capacidad de absorber compuestos biológicamente activos, junto con los fosfatos y ácidos húmicos (Gómez et al., 2019).

En un ambiente de sedimento hay reducción y oxidación, ¿A qué se debe aquello? En el primero (reducción) dona electrones al electrodo y en el segundo (oxidación) acepta electrones de un electrodo estándar de hidrogeno esto también se lo llama potencial redox negativo y positivo (Oliveira, 2021). Las reacciones de óxido-reducción son de gran interés debido a su influencia en la composición química del sedimento, incluyendo elementos como hierro, azufre, fósforo, nitrógeno, carbono y metales. Estas reacciones también tienen un impacto significativo en el metabolismo y la distribución de los microorganismos presentes en el sedimento. El sedimento se divide en tres capas distintas: una capa superficial oxidada, que es aeróbica; una capa intermedia de transición; y una capa reducida en la que predomina la anaerobiosis. La diferencia clave entre estas capas radica en los procesos de respiración, siendo el oxígeno el último aceptor de electrones en la respiración aeróbica, mientras que, en

la respiración anaeróbica, el aceptor puede ser sustituido por sulfuro o nitrato (Gorito et al., 2022).

El potencial redox exhibe una disminución a medida que se profundiza en el sedimento, este fenómeno está relacionado con la categorización de los suelos de los estanques acuícolas según su potencial redox. Al evaluar los potenciales de oxidación negativos, se destaca la reducción causada por la ausencia de oxígeno disuelto, la cual se relaciona con la presencia de metabolitos potencialmente tóxicos. Se ha observado que las concentraciones de amonio, nitrito y gas sulfhídrico en los sedimentos de los estanques acuícolas contribuyen a la disminución del potencial redox (Fossmark et al., 2020).

Tabla 1 Características del suelo que impactan a la gestión de estanques acuícolas

Característica	Fenómeno influido en el estanque
Tamaño de partícula y textura	Problemas relacionados con la erosión, sedimentación, la firmeza de los terraplenes, la capacidad de filtración y la idoneidad del hábitat en el lecho del estanque.
pH y acidez	Niveles de nutrientes disponibles, actividad de microorganismos, productividad de organismos bentónicos y efectos perjudiciales del ion hidrógeno.
Materia orgánica	Resistencia de terraplenes, consumo de oxígeno, suministro de nutrientes, ambiente adecuado en el lecho.
Niveles de nitrógeno y relación carbono: nitrógeno	Degradación de materia orgánica y accesibilidad de nutrientes.
Potencial Redox	Generación de compuestos tóxicos y capacidad de disolución de minerales.
Profundidad del sedimento	Disminución en la profundidad del estanque y mantenimiento de un ambiente adecuado en el lecho del mismo.
Concentración de nutrientes	Disponibilidad de nutrientes y niveles de productividad

Fuente: Adaptado de Boyd, (1995)

5.5 Biorremediación

La biorremediación es un procedimiento ampliamente reconocido que implica la aplicación de microorganismos beneficiosos para tratar aguas o residuos contaminados. Algunos se refieren a la biorremediación como la eliminación, reducción y conversión de compuestos contaminados mediante la inducción de su proceso biológico (Robinson et al., 2019). Este método de tratamiento se basa en las condiciones hidrogeológicas, el contenido y la toxicidad de los contaminantes, la ecología microbiana y otros factores espaciales y temporales. La biorremediación microbiana se encuentra entre los tipos de biorremediación más preferidos, ya que es rentable y capaz de destruir o inmovilizar los contaminantes de manera eficiente (Widiyanto et al., 2020).

Estos microbios usan contaminantes como fuente de energía. Por ejemplo, los microbios utilizaron nitrógeno y fósforo como fuente de nutrientes. No es necesario utilizar los microbios naturales existentes en los residuos. Es posible utilizar especies exógenas o microbios modificados genéticamente como medio de biorremediación (Dong et al., 2021).

Los microorganismos en biorremediación se diferencian en función de la fuente de carbono que necesitan. Los autótrofos pueden sintetizar su propio alimento utilizando la presencia de sustancias inorgánicas para fijar el carbono inorgánico (CO₂) (Decana, 2019). Los autótrofos se clasifican además en fotolitótrofos, que necesitan la energía solar como fuente de energía, mientras que los quimiolitótrofos utilizan la transferencia celular de electrones como fuente de energía. Las bacterias que realizan la oxidación del amoníaco y

del nitrito, un proceso fundamental en la nitrificación y desnitrificación, son parte de las bacterias autótrofas (Navarrete et al., 2022).

Las bacterias autótrofas son capaces de adsorber y transformar fósforo y nitrógeno solubles biológicamente disponibles para proliferar. Esta habilidad es lo más destacado para convertirse en un buen biorremediador (Soltani et al., 2019).

Por otro lado, las bacterias heterótrofas tienen la capacidad de descomponer o inmovilizar la materia orgánica no viva con el propósito de generar carbono para su propio crecimiento celular. En este proceso, estas células actúan como donantes de electrones al facilitar la oxidación de estas sustancias químicas (Wei et al., 2022). A diferencia de las bacterias autótrofas, las bacterias heterótrofas no desempeñan un papel significativo en los procesos de nitrificación y desnitrificación, pero pueden convertir el nitrógeno amoniacal en productos no perjudiciales conocidos como biomasa microbiana (Navarrete et al., 2022).

Estos microorganismos tienen la capacidad de descomponer los desechos orgánicos, como alimentos no consumidos, heces y materia en descomposición, y utilizarlos como fuentes de nutrientes para su crecimiento. La biomasa resultante puede ser aprovechada por los organismos acuáticos como una fuente adicional de nutrientes (Kashem et al., 2023). Esta biomasa se conoce comúnmente como biofloc. Para que la biorremediación sea efectiva, es necesario mantener tasas óptimas de nitrificación que mantengan bajos los niveles de amoníaco. Además, se deben optimizar las tasas de desnitrificación para eliminar el exceso de nitrógeno de los estanques en forma de gas nitrógeno (Pal et al., 2020). También es importante maximizar la oxidación del sulfuro para reducir la acumulación de sulfuro de

hidrógeno y favorecer la mineralización del carbono en CO₂, con el fin de minimizar la producción de lodos (Shivalkar et al., 2021).

La biorremediación surgió originalmente como una metodología agronómica diseñada para neutralizar y eliminar los pesticidas presentes en el suelo utilizando microorganismos capaces de degradar estos residuos. Paralelamente, en la acuicultura, como es el caso del cultivo de camarón, se produce una cantidad significativa de residuos que afectan la calidad del agua y del suelo. En este contexto, se ha implementado la biorremediación mediante productos desarrollados a partir de *Bacillus bacillus* para abordar estos problemas (Vasava, 2020).

Además, se ha observado a través de estudios de campo comparativos que la aplicación de productos de biorremediación en las piscinas camaroneras tiene limitaciones, ya que conlleva un riesgo potencial para los camarones (Barman, 2020). Estos pueden experimentar estrés, desarrollar mancha blanca y otras enfermedades si no se utilizan bacterias biorremediadoras de suelo durante el ciclo de producción. Se han analizado dos agentes de biorremediación para evaluar su efectividad, comparando los parámetros de calidad del suelo antes y después del tratamiento (Kamilya & Devi, 2022).

5.6 Diferencia entre la biodegradación y la biorremediación

Tanto la biodegradación como la biorremediación son procesos que implican el uso de microorganismos, especialmente bacterias. No obstante, hay diferencias notables entre ambas. La biodegradación es un proceso natural en el que los microorganismos convierten las sustancias tóxicas en formas más simples y no tóxicas sin necesidad de intervención

humana. Aunque este proceso es relativamente lento, no requiere ninguna acción por parte del ser humano (Mira, 2022).

En contraste, la biorremediación es un proceso dirigido por expertos técnicos para eliminar y reducir las sustancias tóxicas en el entorno. Este procedimiento se vale de la capacidad de las bacterias para consumir y descomponer las toxinas a través de sus procesos metabólicos, en particular, la materia orgánica. En comparación con la biodegradación, la biorremediación es un método más rápido, pero precisa de la intervención humana (Mira, 2022).

5.7 Biorremediación del sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Se ha ampliado el uso de bacterias bentónicas fotosintéticas en la acuicultura para mantener un ambiente propicio. Estas bacterias contienen clorofila bacteriana que les permite realizar la fotosíntesis incluso en condiciones anaeróbicas, absorbiendo luz en el espectro azul a infrarrojo, según el tipo de clorofila bacteriana presente. Existen dos categorías de bacterias fotosintéticas: las bacterias púrpuras y las verdes del azufre, que prosperan en ambientes anaeróbicos en el sedimento (Wu et al., 2023). Las bacterias fotosintéticas púrpuras sin azufre tienen la capacidad de descomponer materia orgánica, H₂S, NO₂ y otros compuestos tóxicos. Dentro de esta categoría, encontramos dos familias principales, *Chromatiaceae* y *Chlorobiaceae*, que prefieren condiciones anaeróbicas con luz solar y sulfuro como fuente de energía. Mientras que *Chromatiaceae* almacena partículas de azufre en sus células, *Chlorobiaceae* las precipita fuera de ellas (Avunje, 2022).

La familia *Rhodospirillaceae*, aunque no es eficaz en la eliminación del H₂S, utiliza principalmente materia orgánica, como ácidos grasos inferiores, como fuente de hidrógeno. Sin embargo, estas bacterias pueden ser valiosas en la promoción de procesos de mineralización en el lecho del estanque, ya que pueden crecer en condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas, actuando como bacterias heterótrofas incluso en la oscuridad, prescindiendo de la energía solar como fuente de energía (Bergstedt et al., 2022). Para abordar la toxicidad del H₂S a través de la biorremediación, es posible cultivar en masa bacterias pertenecientes a las familias *Chromatiaceae* y *Chlorobiaceae*. Estas bacterias autotróficas y fotosintéticas permiten un cultivo a gran escala más económico, y los organismos cultivados pueden ser aplicados en el fondo del estanque para reducir la toxicidad del H₂S (Letelier-Gordo et al., 2020).

5.8 Utilización de agentes de biorremediación

La remediación de suelos implica la eliminación o reducción de contaminantes no deseados, mientras que la biorremediación busca activar la acción de microorganismos para degradar estos contaminantes, como es el caso de la acumulación de materia orgánica en el suelo. A través de la biorremediación, se fomenta la participación directa de los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica (Luna et al., 2021).

La remediación de los suelos se encuentra regulada por la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y los Criterios de Remediación para Suelos Contaminados, que se establecen en cumplimiento de la Ley de Gestión Ambiental y el Reglamento de Gestión Ambiental. Actualmente, estas regulaciones están sujetas al Decreto Ejecutivo 3516, que

emite una Reforma Texto Unificado de la Legislación Secundaria en Medio Ambiente, específicamente en el Libro VI. Este decreto proporciona pautas y directrices para abordar la remediación de suelos contaminados., en el cual se especifica qué:

“Los organismos de control específicos deberán poner en ejecución las medidas respectivas del programa de remediación aprobado por la autoridad competente en los plazos y condiciones establecidas según amerite la situación”. (Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, libro VI, decreto ejecutivo 3516, registro oficial suplemento 2, 31/03/2003, libre VI, 2015, pp143).

“Se deberá atender a las características propias de cada caso a través del uso de la mejor tecnología para garantizar la recuperación y mantenimiento permanente de la calidad del suelo” (Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, libro VI, decreto ejecutivo 3516, registro oficial suplemento 2, 31/03/2003, libre VI, 2015, pp143).

“Se privilegian las técnicas de remediación in situ, mientras que las demás, se deberán someter a evaluaciones especiales” (Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, libro VI, decreto ejecutivo 3516, registro oficial suplemento 2, 31/03/2003, libre VI, 2015, pp143).

Dada la situación mencionada, la aplicación constante de tratamientos de biorremediación se presenta como una de las opciones más viables. Esta estrategia permite mantener de manera continua los niveles de calidad del suelo, emplea agentes biológicos naturales y fomenta la remediación en el lugar donde se presenta la contaminación, en línea con las regulaciones y requisitos legales de Ecuador. Por lo tanto, este ensayo se considera

de gran importancia, ya que cumple con los estándares legales establecidos en el país (Bhandari et al., 2021).

El exceso de materia orgánica en los estanques de cultivo de camarones ha sido un desafío persistente en la industria acuícola. Esta acumulación se deriva de diversas fuentes, como las excretas de los camarones debido a la sobrealimentación y la adición de otros insumos en los estanques. El problema principal radica en el exceso de suministro de nitrógeno en comparación con la capacidad de los estanques para asimilarlo (El-Saadony et al., 2021). Esto conduce a la degradación de la calidad del agua, ya que se acumulan compuestos como amonio, nitritos y nitratos, que resultan tóxicos para la vida acuática. Este desequilibrio también afecta el pH, los niveles de oxígeno disuelto y favorece la proliferación de microorganismos no deseados. Los desechos generados en los estanques de cultivo incluyen sólidos en suspensión, restos de alimento para camarones, camarones fallecidos, heces de camarón y otros insumos que se depositan en el fondo del estanque, contribuyendo así al aumento de la materia orgánica dentro del sistema (Dawood et al., 2019).

Con el fin de abordar este problema, se ha propuesto la adopción de tecnologías limpias en la acuicultura, en particular, el uso de consorcios microbianos. Estos consorcios se componen de microorganismos que ofrecen beneficios significativos al mejorar la calidad del agua y la degradación de la materia orgánica. Además, desempeñan un papel crucial en la mitigación de enfermedades en los camarones al restablecer tanto la calidad del agua como la del suelo en los estanques de cultivo (Wang et al., 2019).

En Ecuador, la actividad acuícola es intensa, y junto con la actividad agropecuaria, está teniendo un impacto significativo en la degradación del agua. Esto está causando alteraciones en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua, lo que a su vez afecta a los cuerpos de agua cercanos. Por lo tanto, esta investigación se centra en la búsqueda de un equilibrio que garantice la sostenibilidad, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético de Ecuador. Esto se logrará mediante la utilización de consorcios microbianos autóctonos para llevar a cabo la biorremediación de los efluentes generados por la acuicultura del camarón (Shivalkar et al., 2021).

5.9 Bacterias clave en la degradación de materia orgánica en la acuicultura

La biorremediación, un proceso fundamental en la degradación de materia orgánica a través de bacterias, constituye un pilar esencial en la industria acuícola, específicamente en la mitigación de los xenobióticos presentes en los efluentes producidos por los cultivos de camarón. (James et al., 2021) En la actualidad, el sector camaronero dispone de múltiples opciones en cuanto a productos de biorremediación, y se mantiene en constante evolución con el objetivo de mejorar su eficacia. No obstante, investigaciones revelan que las bacterias del género *Bacillus* sobresalen como las más eficaces en este proceso (Yang et al., 2022).

5.10 En que se basa la eficiencia de productos

El proceso de biorremediación, según Noriega (2023), se desencadena cuando los microorganismos liberan enzimas para iniciar la descomposición de sustancias contaminantes, transformándolas en componentes asimilables. Cuando se trata de contaminantes orgánicos, estos son ingeridos por las células microbianas y procesados como

fuelle de alimento, junto con otra fuente de energí. Estos procesos se ven influenciados por diversos factores, como la diversidad de comunidades bacterianas con capacidad de degradación, la concentración de biomasa, la diversidad de enzimas disponibles y una serie de factores físico-químicos, tales como el pH, la temperatura, el tipo de suelo y la disponibilidad de nutrientes.

Señala Noriega (2023) que la biorremediación se lleva a cabo con éxito mediante la estimulación de los nutrientes complementarios (N y P), oxígeno, sustratos y organismos con capacidad de degradación al contaminante presente en el medio. Además, la biorremediación se puede llevar a cabo in situ mediante la adición de conglomerados bacterianos autóctonos a los sitios contaminados. En acuicultura, los géneros de bacterias más empleados para la degradación efectiva de materia orgánica en suelos acuícolas son: *Bacillus*, *Phenibacillus* y *Lactobacillus*.

5.11 Efectividad de productos degradadores de materia orgánica

Los probióticos actúan mediante un mecanismo de exclusión competitiva, donde los microorganismos beneficiosos compiten con los perjudiciales por nutrientes y espacio. Esto conlleva a una serie de beneficios significativos en el entorno donde se aplican, como la mejora de la calidad del agua y del suelo al eliminar contaminantes dañinos (González et al., 2022). Además, en la biorremediación de sedimentos acuícolas utilizando microorganismos beneficiosos, se observa una conversión de los sedimentos en limo, gracias a la influencia del género *li s p* (Gavino, 2017).

En el ámbito de la acuicultura, se ha utilizado el Pro 4000 con el propósito de degradar la materia orgánica que se encuentra en el sedimento. La eficacia de este biorremediador se encuentra ligada a su composición, ya que contiene dos tipos de esporas especializadas en la degradación de la materia orgánica: *Bacillus subtilis* (2×10^9 CFU/g) y *Bacillus licheniformis* (2×10^9 CFU/g) (Castro Feijoo, 2021).

De acuerdo con Oliveira, (2021), el empleo de biorremediadores compuestos por microorganismos del género *Bacillus* brinda notables ventajas, tales como la reducción de la acumulación de materia orgánica en el lecho de los estanques, la mejora en la asimilación de oxígeno en los sedimentos y un beneficio general en la salud de los organismos cultivados. No obstante, es relevante destacar que las bacterias del género *Bacillus*, incluyendo *Bacillus sp.*, muestran una considerable heterogeneidad tanto en sus características fenotípicas como genotípicas. Como resultado de esta diversidad, estas bacterias exhiben una amplia gama de propiedades, incluyendo la capacidad para degradar diversos sustratos derivados de fuentes vegetales o animales, como celulosa, almidón, proteínas e hidrocarburos.

Las bacterias pertenecientes al género *Bacillus* exhiben una amplia capacidad de producción de enzimas y compuestos con propiedades antivirales que son efectivos contra bacterias patógenas, además de contribuir a la mejora de la calidad del agua y la eliminación del nitrógeno en los sistemas de cultivo acuícola (Kuebutornye et al., 2019). Estas características se derivan de la habilidad de estas bacterias para degradar la materia orgánica, utilizando sus componentes como fuente de crecimiento celular, tanto el carbono orgánico como el inorgánico. Adicionalmente, tienen la capacidad de transformar eficientemente los

residuos orgánicos en dióxido de carbono (CO₂), el cual puede ser aprovechado por bacterias de los grupos Proteobacterias γ y β como fuente de carbono (Hlordzi et al., 2020).

Según Melgar Valdes et al., (2013) un producto denominado PST es un probiótico compuesto por conglomerados bacterianos (1.0E+09 ufc/g) que aceleran la descomposición biológica de los suelos con elevada carga orgánica. Su efectividad está fundamentada en la selección de microorganismos benéficos con capacidad de producir una diversa gama de enzimas descomponedores de desechos orgánicos generados en los ciclos de producción de camarón. Se hace referencia a que el proceso de bioaumentación del probiótico acelera la biorremediación y mejora la productividad del estanque.

5.12 Aplicación de productos biorremediadores

El producto Pro 4000 comercializado por Innovaciones Acuícolas es una formulación que consta de dos tipos de esporas con capacidad degradadora de materia orgánica. En la actualidad, se encuentra disponible en una presentación de cubeta de 10 Kg. Se recomienda su aplicación directa en las piscinas, aunque también es posible disolverlo junto con melaza (Olmos et al., 2020). Este producto contiene un mínimo de 64 billones de unidades formadoras de colonias y está compuesto principalmente por bacterias del género *Bacillus*, tales como *Bacillus laterosporus*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens* (Alfiansah et al., 2018).

A continuación, se proporciona información detallada sobre su composición y método de aplicación:

Concentración bacteriana:

Composición:	Concentración mínima: 2×10^9 UFC/g de <i>Bacillus subtilis</i>
	Concentración mínima: 2×10^9 UFC/ g <i>Bacillus licheniformis</i>
Aplicación:	Desde Zoea I hasta Mysis 3, se recomienda aplicar de 1 a 2 tabletas/tanques
	Desde postlarvas I a postlarvas XII, se recomienda aplicar de 5 a 12 tabletas/tanques

En un ciclo de producción extensivo se sugiere comenzar con una dosis baja de 8 tabletas a partir del día catorce después de la siembra de las larvas, y al final del ciclo se habrán utilizado aproximadamente 497 tabletas. Estos productos son eficaces en la reducción significativa de los niveles de amonio, Vibrio y materia orgánica, al mismo tiempo que mejoran el desarrollo de los organismos en producción (Artha et al., 2019).

El tratamiento biológico del suelo de la piscina es una técnica y bioquímica que se ha creado específicamente para acelerar la inadecuación biológica de los suelos de la piscina. Acuicultura severamente eutrófica (alta carga de materia orgánica). Es una comunidad microbiana natural que inocula la basura del fondo de la piscina y comienza el proceso de biorremediación. Además, se complementa con refuerzos patentados para estimular la actividad microbiana (Collaguazo & Tenorio, 2018).

Los desechos en la acuicultura representan un subproducto inherente a la producción. Esto incluye alimentos no consumidos, excrementos de los animales, animales muertos, algas

y, en el caso de los camarones, sus exoesqueletos. Todos estos contribuyen a la acumulación de residuos orgánicos en el fondo de las piscinas. En cantidades pequeñas, esta acumulación no suele ser un problema significativo, ya que los procesos biológicos naturales de las piscinas pueden degradar y mineralizar estos desechos (Muras et al., 2021).

En sistemas intensivos y en piscinas donde los desechos tienden a acumularse en áreas específicas, la ecología de la piscina puede desequilibrarse. Si no se aborda este problema, las sustancias perjudiciales en la piscina pueden acumularse a lo largo del ciclo de producción y tener un impacto negativo en el cultivo. Los productores tienen tres opciones: aceptar el problema y enfrentar pérdidas económicas en la cosecha, realizar una eliminación física de los desechos o llevar a cabo procesos de biodegradación (Vinothkumar et al., 2021).

El bioaumentación con PB acelera este proceso y aumenta la producción en la piscina. Los catalizadores biológicos de PB comienzan a descomponer los materiales orgánicos almacenados de manera inmediata. Se eligieron los microorganismos de PB específicamente debido a su capacidad para producir una amplia gama de enzimas potentes que descomponen eficazmente los diversos desechos orgánicos generados a lo largo del ciclo de crecimiento del camarón (González-León et al., 2022).

5.13 Metodología de investigación referente al uso de microorganismos utilizados para la degradación Materia orgánica.

El suelo es una herramienta esencial en la producción de camarones, y por tanto, es vital mantener su calidad. A pesar de esto, hay una falta de información sobre cómo preservar la salud de los estanques de cultivo. En la acuicultura, una de las técnicas utilizadas para

mejorar la calidad de los suelos en piscinas de cultivo es la biorremediación. Esta práctica implica la aplicación de consorcios bacterianos beneficiosos conocidos como probióticos (Espinoza & Gricelda, 2020).

Según Artha et al., (2019) para monitorizar y evaluar la eficiencia de los procesos de biorremediación es necesario emplear técnicas como medición del potencial redox, análisis fisicoquímicos (pH y temperatura), análisis microbiológicos de sedimento (UFC/g), determinación de compuestos originarios de la degradación de materia orgánica tales como: carbono orgánico total, carbono oxidable y compuestos nitrogenados.

En el trabajo de investigación realizado por Melgar Valdés et al., (2013), se llevaron a cabo pruebas utilizando diferentes concentraciones de un probiótico comercial que contenía bacterias fotosintéticas, bacterias lácticas y levaduras. Además, se evaluó la eficacia del producto mediante la medición de parámetros ambientales como la transparencia del agua, el pH, la temperatura, el nivel de oxígeno disuelto y la cantidad de materia orgánica, utilizando los métodos estipulados en la NOM-021-SEMARNAT-2000. El sedimento se recolectó a una profundidad de 15 cm en el estanque utilizando un nucleador de PVC y luego se procesó en el laboratorio siguiendo los métodos mencionados anteriormente. Como resultado, se encontró que una dosis de 4 litros por hectárea de este probiótico resultó efectiva en la reducción de la materia orgánica en el suelo.

CAPITULO III

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Ubicación de área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de bioquímica y de suelos de la Universidad Técnica de Machala en la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Con las siguientes coordenadas 3°17'29" S 79°54'49" W.

6.2 Materiales

5.3.1 Materiales

- Suelo acuícola
- Tarrina plástica
- Tina
- Papel aluminio
- Botellas plásticas transparente
- Crisol
- Kit de amonio

5.3.2 Equipo

- Balanza analítica
- Mufla

- Medidor de pH
- Estufa
- Oxígenometro
- Espectrofotómetro

5.3.3 Productos biorremediadores

- PA (producto comercial 1)
- PB (producto comercial 2)
- PC (producto de bacteria autóctonas)

6.3 Métodos

Para el desarrollo de la siguiente investigación se realizó un ensayo para comprobar los efectos de 3 productos degradadores de materia orgánica en el suelo.

6.3.1 Obtención de suelo con materia orgánica

Para realizar la investigación se pesó 5 kilogramos de suelo de la camaronera “roovicam” la cual fue recolectada en la ciudad de Santa rosa, vía Jumón

6.3.2 Preparación de suelo con M.O

Se recolecto 5 kilos de suelo de camaronera, la cual se midió el % de materia orgánica, posteriormente a los resultados dados, se procedió a enriquecer el suelo camaronero con balanceado e incrementar el porcentaje de materia orgánica, obteniendo un alto porcentaje para su debida degradación.

6.3.3 Preparación de unidades experimentales

6.3.2.1 Cálculo de dosis de producto biorremediador para suelo acuícola

Figura 3 Diseño de bandeja para biorremediación



Dimensión: 6.009 cm²

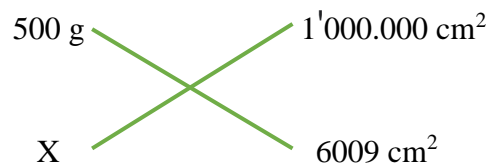
Fuente: Elaborado por los autores

Cálculo de aplicación de bacterias biorremediadoras

Datos

- Dimensión del área 6009 cm² y peso del suelo de 5 kilos
- Área de piscina 1 ha = 1000.000 cm²
- Bacterias producto 500g/ ha

Solución: aplicación de producto biorremediador



$$\frac{500 \text{ g} \times 6009 \text{ cm}^2}{1'000.000 \text{ cm}^2} = 3,0045 \text{ g de producto biorremediador}$$

6.3.2.2. Preparación de unidad experimental (materia orgánica)

Durante el proceso de investigación se emplearon 17 unidades experimentales, es decir, 5 réplicas para cada tratamiento (T1, T2, T3, T4, T5), más muestras de control (C1, C2). Aleatoriamente se separaron dos unidades para toma de PH y materia orgánica directa. En cada una de las unidades experimentales se colocó aproximadamente 200 g de suelo de estanque acuícola.

- Se recolecto 5 kg de muestra de suelo de camaronera al cual se le añadió 2000 g balanceado para enriquecer el suelo.
- Luego se tomó una pequeña muestra de suelo enriquecido para determinar el % de materia orgánica.
- Se separó la proporción de suelo de la cantidad requerida (200 g) para cada tratamiento, 5 réplicas y 2 control en el experimento.
- Teniendo todas las réplicas, el experimento se lo ejecuto mediante técnica de dilución (bacteria+ melaza + agua) se colocó 200 ml a cada una de las réplicas.
- Todos los tratamientos con productos se dejaron en reposo durante 48 horas.
- Lugo de las 48 horas Se pesa 10g de suelo exactos en los crisoles.
- Las muestras se secaron en estufa durante 2 horas a 90°C.
- Se coloco en el desecador y luego se procede a pesar las muestras
- Después se coloca las muestras en la mufla durante una hora a 600°C.
- Se tomo nuevamente el peso de la muestra después que salió de la mufla.
- Se saco % de materia orgánica mediante fórmulas.

6.3.2.2 Preparación de unidad experimental (Nutrientes)

Durante el proceso de investigación se emplearon 4 unidades experimentales, es decir, 1 réplica para cada tratamiento (T1, T2, T3), más muestras de control (C.A). En cada una de las réplicas se tomaron varios parámetros (pH, temperatura y oxígeno) y nutrientes (amonio, nitrito, nitrato y fosfatos). En cada una de las unidades experimentales se colocó aproximadamente 200 g de suelo de estanque acuícola y se proporcionó 500 ml de agua de acuario.

- Se recolecto 1 kg de muestra de suelo de camaronera y se le añadió de balanceado para enriquecer el suelo.
- Luego se colocó la proporción de suelo de la cantidad requerida (200 g) para cada tratamiento.
- Se dividió el suelo en 4 botellas de plástico y 3 de ella se mezcló con los productos, PA, PB y PC, 3 réplicas y 1 controles.
- Teniendo todas las réplicas, se colocó 500ml de agua de acuario con bacteria activada con melaza.
- Todos los tratamientos con productos se la dejaron en reposo durante 48 horas, tomando los parámetros al inicio y al final.

6.3.2.3 Manejo de unidades experimentales

Los parámetros de calidad de suelo tales como textura, pH y porcentaje de Mo, se realizaron en el laboratorio de suelo FCA. La medición del pH se realizó con un equipo (pH metros digital portátil de Marca Hanna y Modelo HI 99164) la cual se tomará el mismo día,

mientras que la materia orgánica del suelo, se la obtendrá mediante la resolución de fórmula ($(M + \text{peso crisol} + \text{peso muestra} - \text{peso mufla}) \times 1,724 = \% \text{ Mo}$). La M.O se la tomo en el suelo original, luego en el suelo con M.O y finalmente en el suelo tratado, después de ser biorremediador el suelo y pasar por varios procesos de secado de la muestra, obteniendo los datos de las muestras y poder realizar los cálculos mediante los datos recolectados en el proceso.

6.3.2.4 Utilización de productos biorremediadores

Para poder realizar la biorremediación correspondiente se emplearán 3 productos biorremediadores de materia orgánica del suelo, entre los que tenemos PA, PB y PC. Los productos biodegradadores de materia orgánica del suelo como PA, PB y PC. Se colocó el PA para las 5 unidades experimentales (T1, T2, T3, T4, T5), PB para las 5 unidades experimentales (T1, T2, T3, T4, T5) y PC para 5 unidades experimentales (T1, T2, T3, T4, T5).

6.3.2.5 Utilización del producto en forma activada

Se utilizaron 3 productos microbianos, entre los que tenemos PA, PB y PC. Se activó los productos comerciales con agua de pozo y melaza por 24 horas. Se aplicó 200 ml de cada producto a las réplicas correspondientes, se dejó en reposo durante 48 hora.

6.3.2.6 Proceso de biodegradación de materia orgánica

Para el proceso de biodegradación de materia orgánica del suelo, se colocó una cantidad de 200 ml de fermento de PA a cada unidad experimental, 200 ml de fermento de

PB a cada unidad experimental y 200 ml de fermento de PC a cada unidad experimental, se dejó actuar las bacterias biorremediadores durante un tiempo de 48 horas mínimo para determinar el grado de efectividad de los productos.

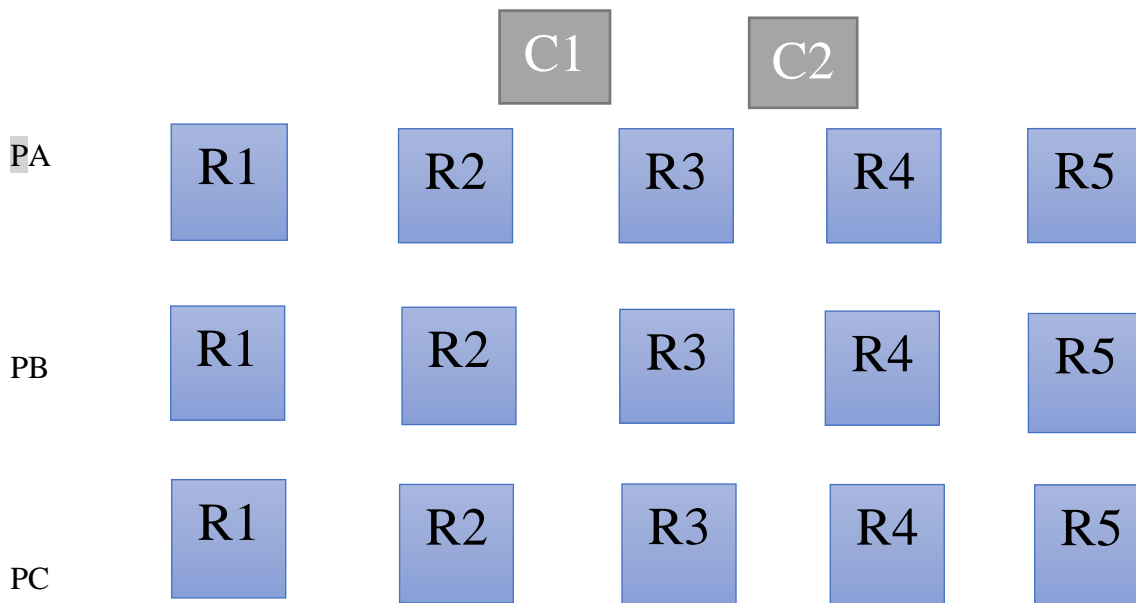
6.4 Diseño experimental

6.4.2.1 Diseño experimental para la evaluación de la reducción de Materia orgánica

El diseño experimental de investigación es un Diseño Completamente al Azar (DCA), siendo el factor de estudios los productos degradadores de materia orgánica que serán implementado en el suelo acuícola. Los datos que se obtendrá serán el porcentaje de degradación de materia orgánica del suelo obtenido mediante el método de incineración. Se trabajará con tres tratamientos.

- Tratamiento 1 (T1): suelo acuícola con la adición de producto comercial (PA).
- Tratamiento 2 (T2): suelo acuícola con la adición de producto comercial (PB).
- Tratamiento 3 (T3): suelo acuícola con la adición de bacteria autóctonas producidas en el laboratorio (PC).
- Tratamiento control (T0): suelo acuícola sin aplicar la aplicación de productos degradadores de materia orgánicas.

Figura 4 Diseño experimental para el estudio de la materia orgánica en el suelo con réplicas y control

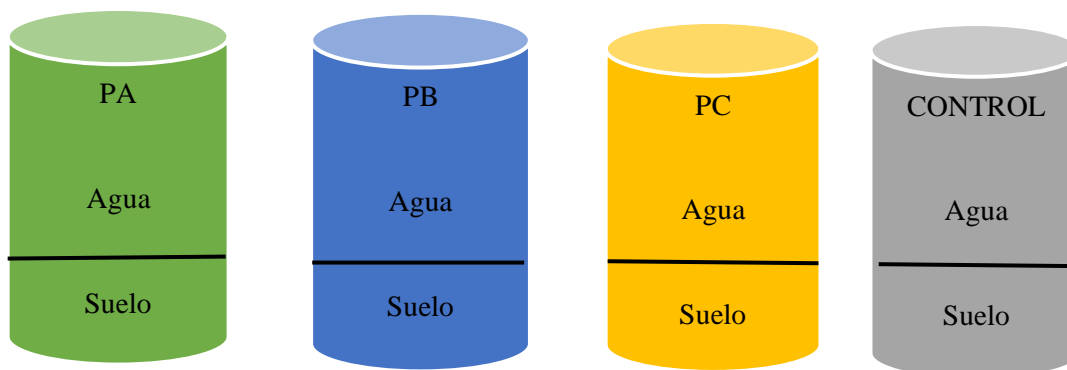


6.4.2.2 Diseño experimental para la evaluación de nutrientes disueltos en el agua

Para la determinación de nutrientes en el agua se aplicó un diseño experimental de un Diseño Completamente al Azar (DCA), siendo el factor de estudios de nutrientes y parámetros del suelo acuícola. Los datos que se obtendrá serán el monitoreo de parámetros (oxígeno, pH, temperatura) y nutrientes (amonio, nitrito, nitrato y fosfato), mediante el efecto de biorremediación. Se trabajará con 3 tratamientos.

- Tratamiento 1 (T1): suelo acuícola con la adición de producto comercial (PA).
- Tratamiento 2 (T2): suelo acuícola con la adición de producto comercial (PB).
- Tratamiento 3 (T3): suelo acuícola con la adición de bacteria autóctonas producidas en el laboratorio (PC).
- Tratamiento control (T0): suelo acuícola con la adición de agua de acuario.

Figura 5 Diseño experimental para el ensayo de medición de nutrientes en el agua



6.4.3 Análisis de agua

Tabla 2 Experimentos con sus variables a medir y técnicas analíticas utilizadas

Experimento	Variabes	Técnicas analíticas
Con agua dulce esterilizada más la adición química de nutrientes N:P y sal	Amonio (NH ₄) Fosfatos (PO ₄)	Colorimétrico
Con agua de una piscina de cultivo extensivo de camarón	Amonio (NH ₄) Fosfatos (PO ₄)	Fotometría
Con agua de piscina camaroneras de cultivo semi-intensivo madurada en acuarios con aireación y camarones adultos	Amonio (NH ₄) Fosfatos (PO ₄)	Colorimétrico
Con agua de un laboratorio madurada en acuarios con aireación y post-larvas de camarón	Amonio (NH ₄) Nitritos (NO ₂) Nitratos (NO ₃) Fosfatos (PO ₄)	Fotometría

Fuente: Elaborado por los autores

La ejecución de la técnica analítica de la colorimetría, se la realizo siguiendo las indicaciones de cada uno de los kits utilizados.

- **Determinación de NH_4 con kits de la marca Api:** 5 ml de muestra de agua + 8 gotas de solución 1 y 2.
- **Determinación de PO_4 con kit de la marca Seachem:** 1 ml de la muestra de agua + 1 gota de solución 1 y 2 gotas de solución 2.

la ejecución de la técnica analítica de la fotometría se realizó con el Espectrofotómetro YSI 9300 siguiendo sus instrucciones y utilizando sus reactivos.

- **Determinación de NH_4 :** 10 ml de muestra de agua + acondicionador (si se trata de agua salada) + pastilla de amonio 1 y 2.
- **Determinación de NO_2 y NO_3 :** 10 ml de muestra de agua + pastilla nitricol.
- **Determinar de PO_4 :** 10 ml de muestra de agua + pastilla de fosfato 1 y 2.

6.4.4 Análisis estadísticos

Como primer paso se desarrolló una descripción de los tratamientos de manera estadísticas. Posteriormente se verifico la homogeneidad de varianza y la normalidad de los datos. Para corroborar que las diferencia entre cada tratamiento con respecto a las horas realizo una ANOVA factorial. Para comparar los tratamientos en función de la observación realizadas por horas se ejecutó una prueba t de Student. Por último, para determinar cuál es el mejor tratamiento se realizó una gráfica de barras simples. Estos procesos estadísticos se llevaron a cabo en el programa estadístico SPSS Statistics versión 25 de prueba para Windows, con un alfa de 0,05.

7 RESULTADOS

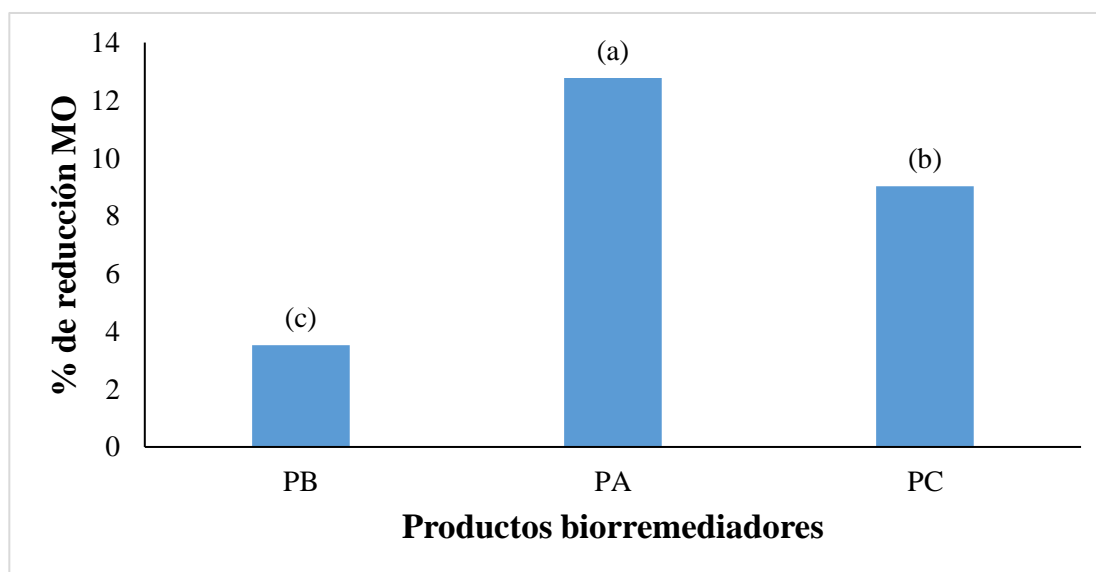
Los resultados del presente trabajo están relacionados a la M.O, al flujo de nutrientes y parámetros fisicoquímicos de control desde el proceso de actividades de 3 productos comerciales microbianos en 48 horas.

7.3 Materia orgánica

7.3.2 Reducción de materia orgánica

Al iniciar el ensayo, se detectó en todas las muestras un porcentaje de reducción de MO de 5,69. Se probaron tres productos de biorremediadores con el objetivo de analizar su eficiencia en la reducción de MO. A los dos días se observó una reducción de materia orgánica en todas las pruebas, PA 45,84%, PC 38,81% y PB 32,68%, obtenido como resultado (table 1).

Figura 6 Porcentaje de reducción de MO en suelos con aplicación de tres productos microbianos



Las letras indican que los 3 productos son significativamente diferentes $p > 0,05$.

Se notó diferencia en todas las réplicas, en PB con la réplica PA de 13,16%, en PA con la réplica PC de 7,03% y PC con la réplica PB 5,42%. La eficiencia de cada producto determino que el PA fue el producto con mayor eficiencia 67,25%, seguido por PC 61,13% y por último el PB 54,09%.

7.3.3 Efecto de biorremediación en degradación de materia orgánica (MO), mediante el uso de tres productos microbianos.

La Tabla 3 muestra el contenido de MO en el suelo luego del proceso de biorremediación con diferentes productos comerciales con la misma dosis de PA, PB y PC, en donde se obtuvo para los tratamientos en donde se aplicaron los productos de PA ($M=3,83096936 \pm 019g\ kg^{-1}$), PB ($M=3,08154656 \pm 0,13\ g\ kg^{-1}$) y PC ($M= 3,48227312 \pm 0,33\ g\ kg^{-1}$).

Tabla 3 Estadísticos descriptivos del contenido de MO en el suelo tratado con diferentes productos microbianos.

	N	Media	Desv. Desviación n	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
PB	5	3.0815465 600	.12561594 487	.05617715 836	2.9255737 637	3.2375193 563	2.950453 60	3.288012 80
PA	5	3.8309693 600	.18544361 286	.08293290 487	3.6007107 022	4.0612280 178	3.556439 60	4.013127 20
PC	5	3.4822731 200	.32529123 950	.14547466 480	3.0783706 990	3.8861755 410	3.070271 60	3.918307 20
Total	15	3.4649296 800	.38081441 424	.09832585 896	3.2540416 866	3.6758176 734	2.950453 60	4.013127 20

Nota: **n**=número de observaciones realizadas. **M**=Media aritmética. **D.S**=Desviación típica o estándar. **D.E** = Error típico o estándar de la media. **IC**= Intervalo de confianza. **Máx**= Máximo. **Mín**= Mínimo.

Para identificar los datos se siguieron distribución normal se realizó una prueba estadística de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk contratando la siguiente hipótesis cuyos resultados se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4 Prueba de normalidad para la comparación de MO, entre los diferentes productores microbianos (PA, PB y PC)

Producto biorremedador	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	p-valor	Estadístico	gl	p-valor
PB	.295	5	.179	.891	5	.363
PA	.202	5	.200*	.928	5	.582
PC	.115	5	.200*	.996	5	.997

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

- **Prueba de hipótesis.**

H0: Los datos de materia orgánica (MO) del suelo en cada tratamiento siguen una distribución similar a la distribución normal,

H1: Al menos un dato de materia orgánica (MO) del suelo en cada tratamiento no sigue una distribución similar a la distribución normal.

- **Establecimiento del nivel de significancia:** 0,05%.
- **Selección de la prueba estadística:** Test de Shapiro-Wilk
- **Lectura de p-valor:** El p-valor obtenido en la prueba Test de Shapiro-Wilk en todos los tratamientos es mayor al alfa.

- **Toma de decisión:** Dado que el p-valor obtenido en la prueba Shapiro-Wilk es mayor, se acepta H_0 .
- **Conclusión:** Con la confiabilidad del 95% y un error 36% se demuestra que los datos de reducción de materia orgánica (MO) en cada tratamiento siguen una distribución similar a la distribución normal.
- **Interpretación:** El 95% de los datos están a dos desviaciones estándar de la media.

En la tabla 4, se pudo observar que la prueba estadística ANOVA de un factor Inter grupos, muestra un p-valor de 0,001, con lo cual es menor al alfa establecido (0,05), por lo cual, la media de la concentración de materia orgánica (MO), presenta diferencias significativas en función a los diferentes productos microbianos de PA, PB y PC,

Por otro lado, la prueba post hoc de Duncan muestra de tres subconjuntos significativamente diferentes, permitiendo observar que, con la aplicación de diferentes productos comerciales de PA, PB y PC se alcanza una reducción de la materia orgánica en todos los tratamientos (PA, PB y PC) cuando se compara con la materia orgánica original La reducción de MO puede relacionarse a la aplicación de productos biorremediadores del suelo (Tabla 5).

Tabla 5 ANOVA de un factor Inter grupos para la comparación de MO, entre los diferentes productos microbianos de PA, PB y PC.

ANALISIS DE VARIANZA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor.
Entre grupos	1.406	2	.703	13.524	.001
Dentro de grupos	.624	12	.052		
Total	2.030	14			

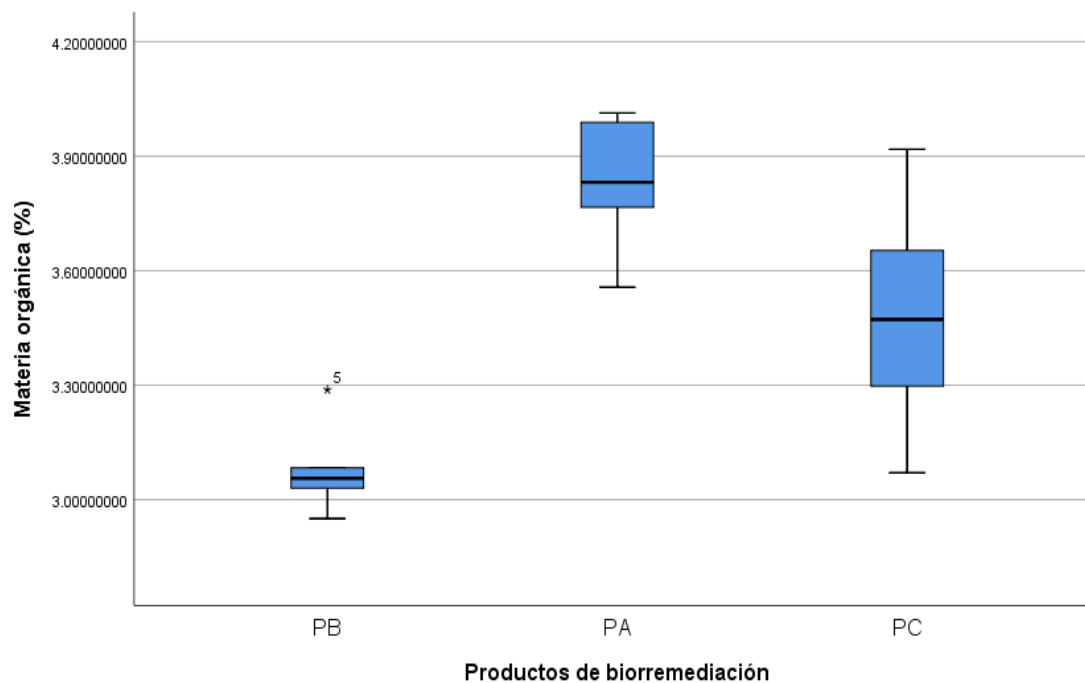
Nota: gl=grados de libertad. F=Estadístico.

En la prueba estadística para grupos independientes género 3 subconjuntos significativamente diferentes donde se muestra que la variedad para el tratamiento PA cuya eficiencia fue superior en reducir el % materia orgánica de 67,25%, el tratamiento PC cuya eficiencia redujo el 61,13% y el tratamiento PB cuya eficiencia redijo el 54,09% (Figura 7).

El mejor tratamiento como se puede evidenciar es el tratamiento PA. La eficiencia de PA fue mayor en la degradación de materia orgánica.

En la prueba estadística para grupos independientes género 3 subconjuntos significativamente diferentes donde se muestra que la variedad para el tratamiento PA cuya eficiencia fue superior en reducir el % materia orgánica de 67,25%, el tratamiento PC cuya eficiencia redujo el 61,13% y el tratamiento PB cuya eficiencia redijo el 54,09%. El mejor tratamiento como se puede evidenciar es el tratamiento PA. La eficiencia de PA fue mayor en la degradación de materia orgánica.

Figura 7 Promedio y desviación estándar de datos de MO en el suelo con tres productos microbianos



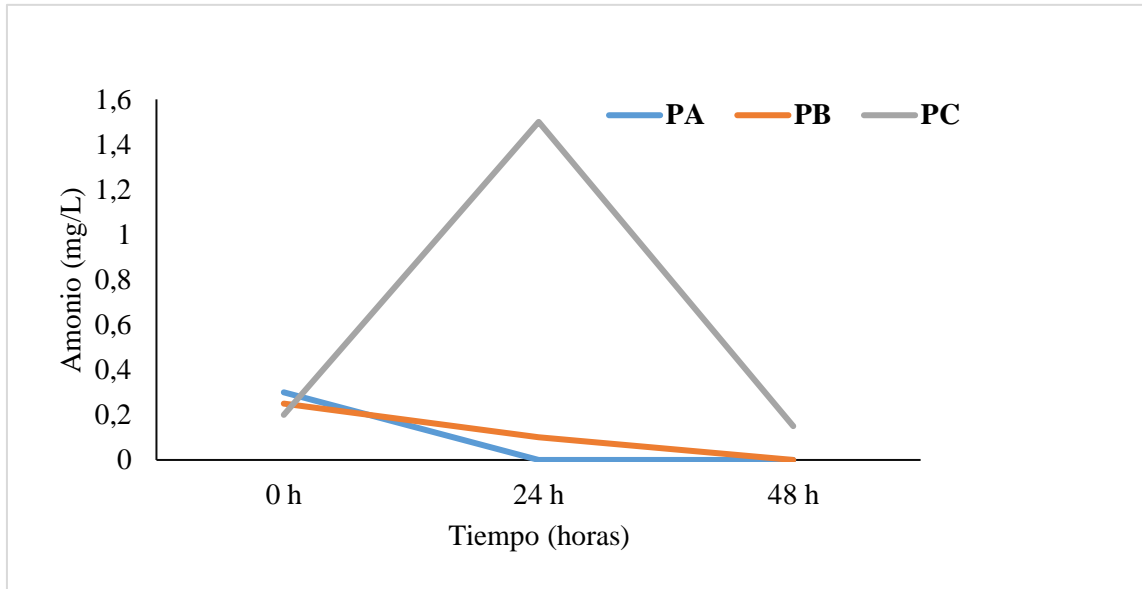
7.4 Flujo de Nutrientes

Los nutrientes Nitritos, Nitratos, Amonio y Fosfato, tuvieron diferente comportamiento en los diferentes tratamientos con productos microbianos.

7.4.2 Amonio

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban concentraciones diferentes de amonio, PA (0,3 mg/l), PB (0,25 mg/l) y PC (0,2 mg/l) Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción en PA (0 mg/l), PB de (0,1 mg/l) y un incremento en PC (1,5 mg/l). Después de 48 horas, se observó que el PA se mantuvo en la concentración (0 mg/l) y una reducción en PB (0 mg/l), PC (0,15 mg/l) (figura8).

Figura 8 Variación de concentración de amonio (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos

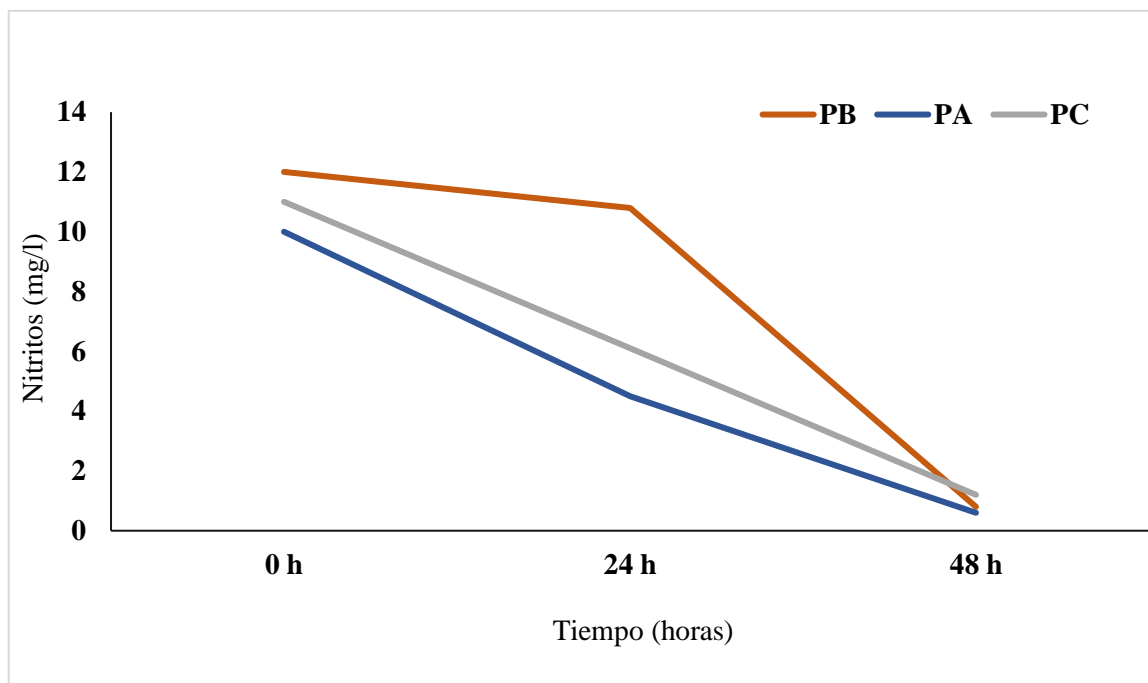


Los resultados indican que al iniciar el ensayo todas las muestras presentaron una concentración de amonio del 100%. Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de bacterias, se observó una disminución en PB (40%) y PA (0%) mientras que PC (75%) se incrementó. Después de 48 horas se observó una reducción en todas muestras, PB (0%), PA (0%) y PC (75%).

7.4.3 Nitritos

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban concentraciones diferentes de nitritos, PA (10 mg/l), PB (12 mg/l) y PC (11 mg/l). Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de la dosis, se observó una reducción en todas las muestras, PB (10,8 mg/l), PA (4,5 mg/l) y PC (6,1 mg/l). Al día siguiente 48 horas después, se observó una reducción de concentración de nitritos, PB (0,8 mg/l), PA (0,6 mg/l) y PC (1,2 mg/l).

Figura 9 Variación de la concentración de nitritos (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos

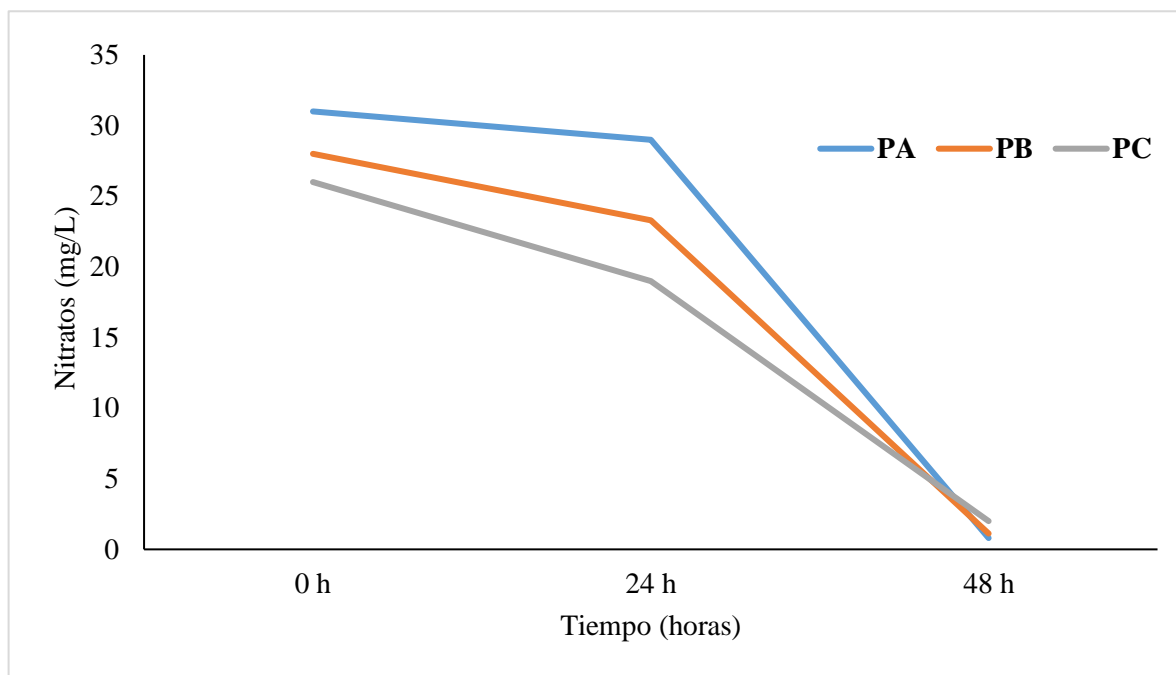


Los resultados indican que al iniciar el ensayo todas las muestras presentaron una concentración de nitritos del 100%. Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción en PB (90%), PA (45%) y PC (55,45%). Después de 48 horas se observó una mayor reducción en las muestras.

7.4.4 Nitratos

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban concentraciones diferentes de nitratos, PA (31 mg/l), PB (28 mg/l) y PC (26 mg/l). Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción en todas las muestras, PB (23,3 mg/l), PA (29 mg/l) y PC (19 mg/l). Al día siguiente 48 horas después, se observó una reducción de concentración de nitratos, PB (1,12mg/l), PA (0,8 mg/l) y PC (2 mg/l).

Figura 10 Variación de la concentración de nitratos (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos

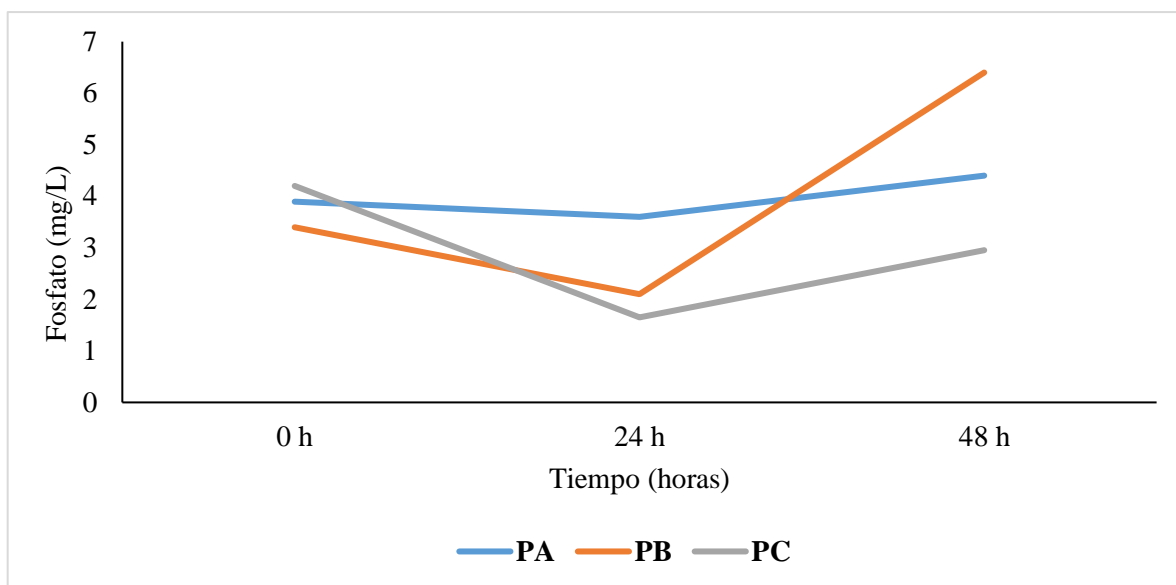


Los resultados indican que, al iniciar el ensayo, todas las muestras presentaron una concentración de nitratos del 100%. Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción en PB (83,21%), PA (93,54%) y PC (73,07%). Después de 48 horas se observó reducción en PB (4%), PA (2,58%), y PC (7,69%).

7.4.5 Fosfato

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban concentraciones diferentes de fosfatos, PA (3,9 mg/l), PB (3,4 mg/l) y PC (4,2 mg/l). Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción en todas las muestras, PB (2,1 mg/l), PA (3,6 mg/l) y PC (1,65 mg/l). Al día siguiente 48 horas después, se observó un incremento de concentración de fosfatos, PB (6,4 mg/l), PA (4,4 mg/l) y PC (2,95 mg/l).

Figura 11 Variación de la concentración de fosfato (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos



Los resultados indican que, al iniciar el ensayo, todas las muestras presentaron una concentración de fosfato del 100%. Al día siguiente después de la aplicación de bacterias, se observó una disminución en PB (61,76%), PA (92,30%) y PC (81,08%). Después de 48 horas se observó un incremento en la concentración de fosfatos superando el valor inicial.

7.5 Parámetros físicos-químicos de control

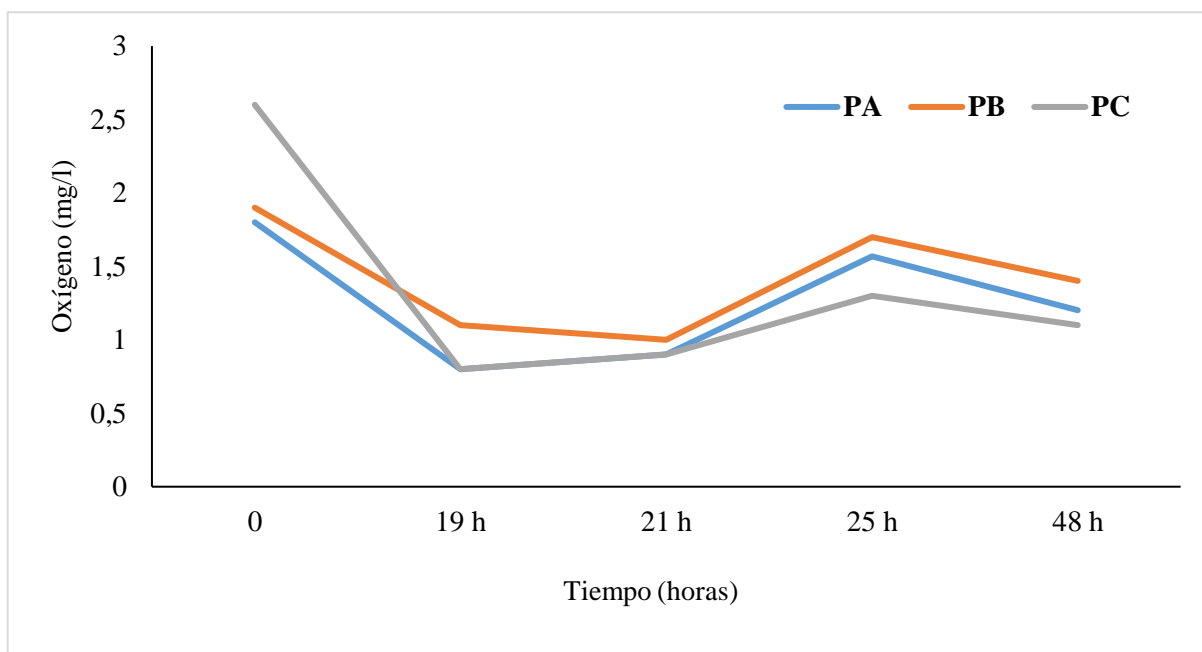
Los parámetros de control Ambiental fue T⁰C, O₂, pH y en todos los experimentos existió un comportamiento similar.

7.5.2 Oxígeno

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban diferente concentración de oxígeno, PA (1,8 mg/l), PB (1,9 mg/l) y PC (2,6 mg/l). Al día siguiente 24 hora después de la aplicación

de bacterias, se observó una reducción de concentración de oxígeno en todas las muestras, PB (1,1 mg/l), PA (0,8 mg/l) y PC (0,8 mg/l), el mismo día se tomó una segunda medición de parámetros, observando una reducción de concentración, PB (1 mg/l), PA (0,9 mg/l) y PC (0,9 mg/l), a finalizar el día se tomó una tercera medición, la cual se observó un incremento de oxígeno, PB (1,7 mg/l), PA (1,57 mg/l) y PC (1,3 mg/l). Al día siguiente después de 48 horas se tomó la última medición de concentración de oxígeno, observando una disminución en todas las muestras, PB (1,4 mg/l), PA (1,2 mg/l) y PC (1,1 mg/l).

Figura 12 Variación de concentración de oxígeno disuelto en el agua (mg/l) durante 48 hora de acción de tres productos microbianos



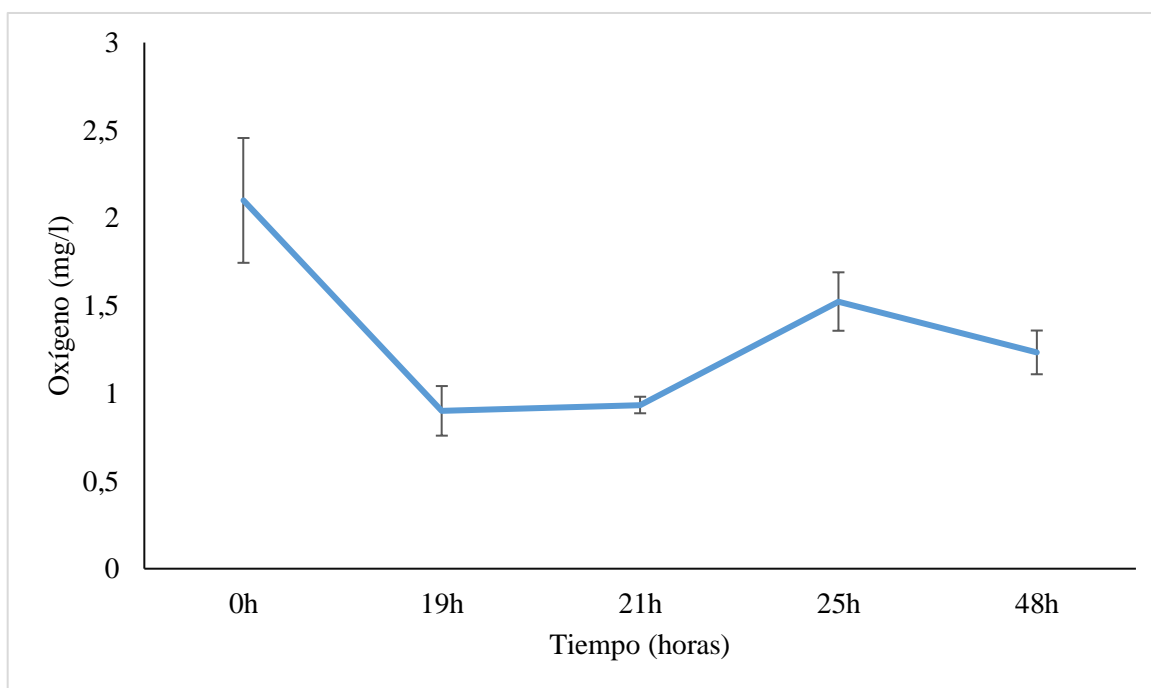
Los resultados indican que, al iniciar el ensayo, todas las muestras presentaron una concentración de oxígeno del 100%. Al día siguiente después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción de porcentaje de oxígeno disuelto en el agua de todas las muestras de, PB (57,89%), PA (44,44%) y PC (30,76%). A las 19 horas de mantenimiento, se observó

una reducción en la concentración de oxígeno en el agua con aproximadamente, PB (89,47%), PA (87,22%) y PC (50%). Al día siguiente después de 48 hora después se obtuvo la última medición de concentración de oxígeno, el oxígeno disuelto en el agua disminuyó, PB (73,68%), PA (66,66%) y PC (42,30%).

7.5.2.1 Concentración de oxígeno disuelto en el agua de las unidades experimentales

Al iniciar el ensayo, el oxígeno disuelto en el agua alcanzo un promedio de 2,1 con una desviación estándar de 0,36. Al día siguiente 19 horas después se obtuvo una disminución en la concentración de oxígeno disuelto del 40% ($0,9 \pm 0,15$). A las 2 horas se observó un ligero incremento de 51,08 % ($0,94 \pm 0,047$). A las 4 hora se observó un incremento de 61,94% ($1,53 \pm 0,17$). Al día siguiente se obtuvo una ligera disminución de oxígeno 44,56% ($1,23 \pm 0,12$).

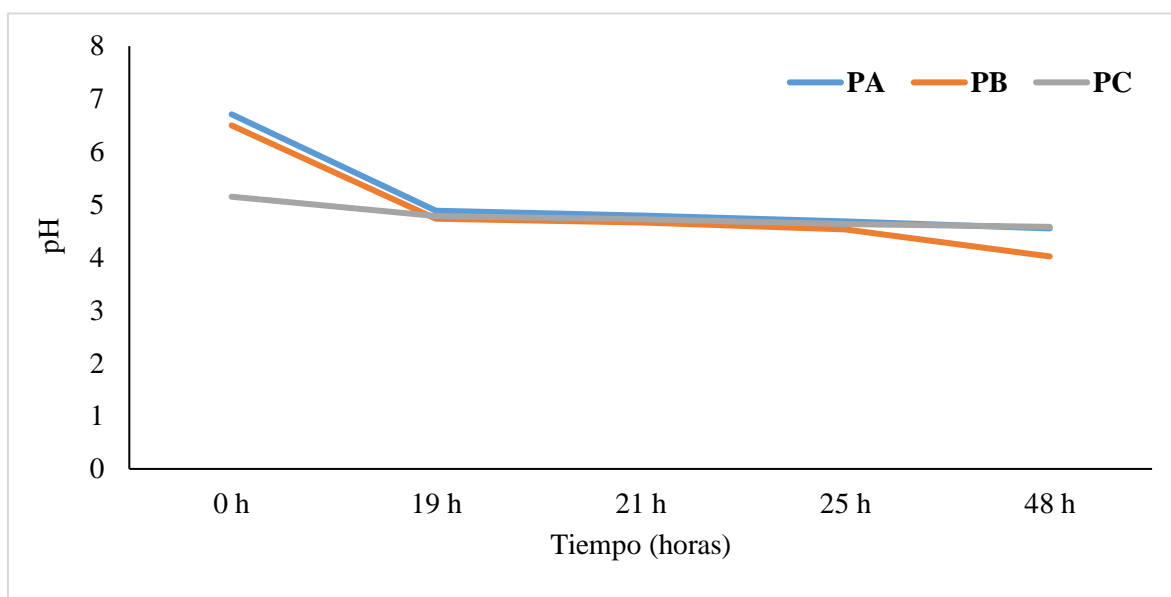
Figura 13 Concentración de oxígeno disuelto, durante 48 hora de acción de tres productos microbianos



7.5.3 pH

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban diferencias en el pH, PA (6,71), PB (6,5) y PC (5,15). Al día siguiente después de 19 horas de la aplicación de las bacterias, se observó una reducción en PB (4,73), PA (4,89) y PC (4,78), a las 4 horas hubo una reducción en PB (4,66), PA (4,79) y PC (4,72), al final del día se tomó este parámetro en todas las muestras observando un descenso en PB (4,53), PA (4,68) y PC (4,63). Al día siguiente después de 48 horas se observó una reducción en las muestras, PB (4,02), PA (4,55) y PC (4,58).

Figura 14 Variación de concentración de pH durante 48 hora de acción de tres productos microbianos



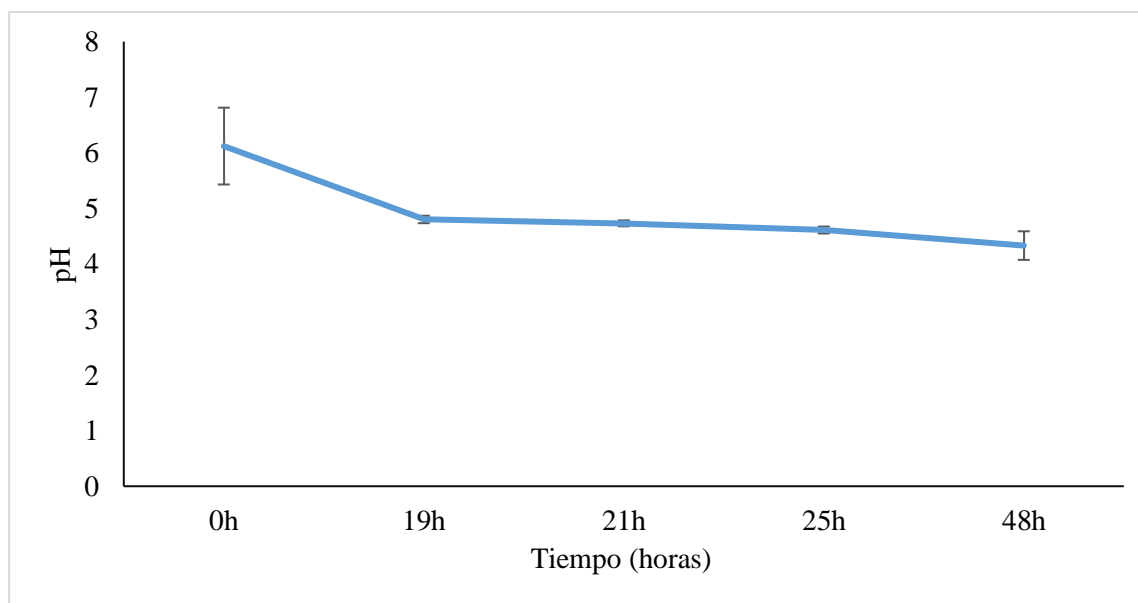
Los resultados indican que, al iniciar el ensayo, todas las muestras presentaron un pH del 100%. Al día siguiente después de la aplicación de bacterias, se observó una reducción en las muestras PB (72,76%), PA (72,87%) y PC (69,66%), el mismo día se tomó nuevamente parámetros, en el cual continuaba disminuyendo, PB (71,69%), PA (71,38%) y PC (68,94%), a final de día se tomó la última medición observando un descenso. PB (69,69%), PA

(69,74%) y PC (66,61%). Al día siguiente después de 48 hora se obtuvo la última medición, donde se mostró una disminución PB (61,84%), PA (67,80%) y PC (65,02%).

7.5.3.1 Concentración de pH en el agua de las unidades experimentales

Al iniciar el ensayo, el pH en el agua alcanzo un promedio de 6,12 con una desviación estándar de 0,69. Al día siguiente 19 horas después se obtuvo una disminución de pH ($4,80 \pm 0,066$). A las 2 horas después se observó un ligero descenso de ($4,73 \pm 0,053$). A las 4 horas se observó una disminución de ($4,61 \pm 0,063$). Al día siguiente se obtuvo la última medición observando una disminución de ($4,33 \pm 0,26$).

Figura 15 Variación de pH, durante 48 hora de acción de tres productos microbianos

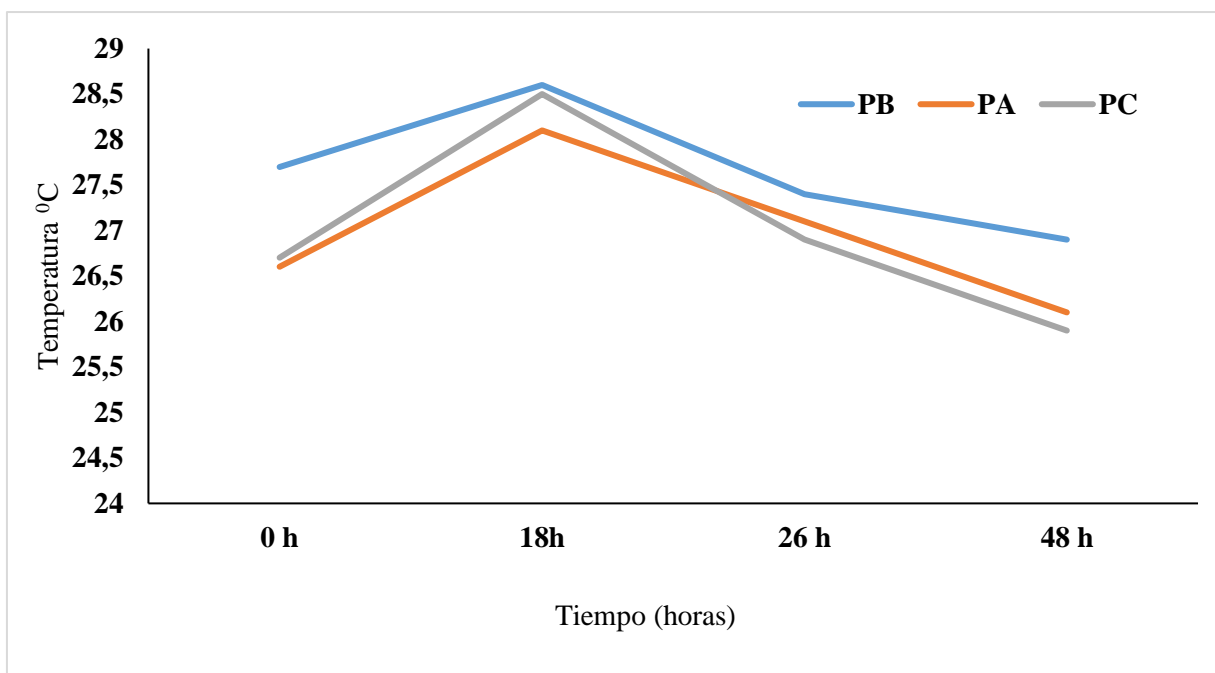


7.5.4 Temperatura

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban diferente temperatura, PA ($26,6^{\circ}\text{C}$), PB ($27,7^{\circ}\text{C}$) y PC ($26,7^{\circ}\text{C}$). Al día siguiente después de la aplicación de bacterias, se observó

un incremento en todas las muestras, PB (28,6 °C), PA (28,1 °C) y PC (28,5 °C), luego de 8 horas se tomó nuevamente el parámetro observando un ligero descenso de temperatura en todas las muestras, PB (27,4 °C), PA (27,1 °C) y PC (26,9 °C). Durante 48 horas después se observó la última medición viendo una reducción, PB (26,9 °C), PA (26,1 °C) y PC (25,9 °C).

Figura 16 Variación de Temperatura, durante 48 hora de acción de tres productos microbianos

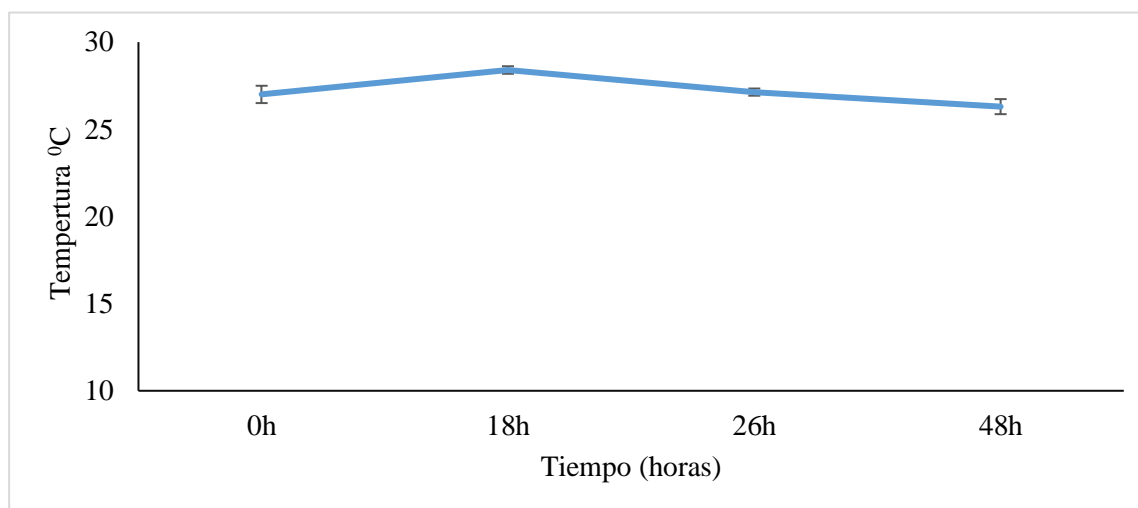


Los resultados indican que, al iniciar el ensayo, todas las muestras presentaron una temperatura del 100%. Al día siguiente 24 hora después de la aplicación de dosis, se observó un incremento en las muestras PB (103,24%), PA (105,63%) y PC (106,74%), el mismo día se observó una reducción, PB (98,91%), PA (101,87%) y PC (100,74%). Al día siguiente 48 hora después se obtuvo la última toma de parámetros, donde se mostró una disminución de %, PB (97,11%), PA (98,12%) y PC (97,00%).

7.5.4.1 Variación de temperatura en el agua de las unidades experimentales

Al iniciar el ensayo, las muestras presentaban un promedio de 20,25 con una desviación estándar de 0,49. Al día siguiente 18 horas después se obtuvo un incremento de promedio 25,8 y una disminución de desviación estándar de 0,22 después de 8 horas se observó un ligero incremento de promedio de 26,85 y un ligero descenso de desviación estándar de 0,20. Al día siguiente se obtuvo la última medición observando un incremento de promedio y desviación estándar de $(31,725 \pm 0,432)$.

Figura 17 Variación de temperatura, durante 48 horas de acción de tres productos microbianos



Estadísticamente no hubo diferencia en los tres tratamientos al iniciar el ensayo, todas las muestras presentaban un promedio y desviación estándar dentro de los rangos adecuados. Al día siguiente después de 19 horas presentaba diferencia de incremento/disminución de promedio y desviación estándar los tres tratamientos incrementando los promedios de los tres tratamientos y disminución estándar de los tres tratamientos (pH, oxígeno y temperatura) de manera ligera, después de 4 hora no se observó diferencia entre los tres tratamientos, debido que el promedio seguía aumentando y la desviación estándar disminuía de manera ligera. Al

día siguiente 48 hora después se obtuvo la última medición que se observó diferencia en los tres tratamientos (pH, oxígeno y temperatura), obteniendo un incremento de promedios y desviación estándar en los tratamientos de (pH y temperatura) y un descenso de promedio y desviación estándar en el tratamiento de (oxígeno).

8 DISCUSIÓN

8.3 Biorremediación de materia orgánica del suelo mediante productos microbianos.

La concentración de MO en el suelo en estado original fue de 5,65%. Este resultado surgió luego de un proceso de enriquecimiento del suelo con balanceado de camarón para simular la existencia de balanceado de desecho en el suelo. Según Ron et al., (2020), quienes indican que la MO en cultivo de camarón varía alrededor de >1,5% al inicio y <4% a final de cosecha. Se pudo verificar que no hubo diferencia en los tratamientos (PA, PB y PC). Es decir que la aplicación de la dosis en los ensayos puede llegar a causar el mismo efecto de reducción en el porcentaje de MO en piscinas donde existe balanceado de desecho. Por otra parte, las réplicas de los tratamientos fueron semejantes a excepción del control, fueron idénticos por Martínez et al., (2022)

Por otra parte, el máximo porcentaje de reducción de MO en comparación al control fue de la siguiente manera: PA 45,84%, PC 38,81% y PB 32,68%. Los resultados obtenidos en el presente ensayo en la degradación de MO fueron menores a los resultados obtenidos por Oliveira et al., (2023) cuyos resultados en la reducción de MO fueron de 68,25% a 77,68%, utilizando varias dosificaciones de producto biorremediador para cada tratamiento, las dosis Oliveira et al., (2023) fueron de 150, 300, 1000 y 2000 g/ha, reduciendo de manera efectiva la MO. Según Oliveira et al., (2023) la baja reducción de MO es debido a que las bacterias que ellos utilizaron contenían un potencial genético para poder reproducir de manera suficiente enzimas que nos permitiría degradar MO de forma directa en la piscina de camarón, por otra parte, el autor surge que las bacterias necesitan carbono suficiente para

incrementar su biomasa para una efectiva reducción de materia orgánica. Por otro lado, según Boyd, (2019) la MO en el suelo son fácil de reducir cuando contiene una gran cantidad Nitrógeno, debido a que contienen menos fibras siendo de fácil degradación. Los desechos orgánicos que contengan un porcentaje por encima de 3 de N, se descomponen de manera más rápida de lo que tienen % de 0,5 a 1. Además, existen varios factores que influyen en la biorremediación, temperatura, pH y oxígeno, debido al crecimiento de la bacteria para una reducción de MO adecuada.

8.4 Análisis físico-químico de agua residual acuícola, bajo el efecto de biorremediación mediante productos microbianos.

Mediante el experimento de análisis de nutrientes, se obtuvieron muestras de agua acuicultura. Se hizo un análisis de nutrientes, las concentraciones de NH₄, NO₂, NO₃ y PO₄, presentaban bajo niveles de concentración en NH₄ y PO₄, mientras que NO₂ y NO₃ tenían alta concentración.

Por otra parte, los niveles de concentración observados final del experimento son, NH₄ (0-0,15), NO₂ (0,8-1,2), NO₃(1,12-2) y PO₄(2,95-6,4), utilizando dosis 3g de producto bacteria. Los resultados obtenidos en el trabajo fueron mejores a los resultados obtenidos por John et al., (2020) quien determino que los nutrientes fueron NH₄ (4,8 mg/l), NO₂ (6,9 mg/l), NO₃ (4,16 mg/l) y PO₄ (6,5 mg/l), utilizando 2 g de producto bacteriano en 1L de muestra de agua. En la biorremediación de sustancias toxicas, el oxígeno es clave, debido que a mayor actividad bacteriana mayor será el consumo de oxígeno eliminando gases que en su mayoría son toxico en una piscina camaronera.

Por otra parte, los niveles de concentración de NO₃ y NO₂, se redujeron de manera significativa, debido a la baja concentración de oxígeno en el experimento. Es decir, las bacterias necesitaban oxígeno para continuar con su actividad microbiana, por lo tanto, las bacterias proceden a tomar oxígeno de los nutrientes como NO₃ y NO₂ como alternativa para continuar con su actividad bacteriana reduciendo sustancias tóxicas mejorando la calidad de agua, como indica Boyd, (2019).

Se pudo observar que casi el 100% de fosfatos en el tratamiento fue reduciendo a las 24 horas, aunque a las 48 horas aumentó posiblemente por desprendimiento de fosfato desde el suelo hacia el agua con un relativo control por parte de los microorganismos misma que fueron incluida en el experimento

Los parámetros físicos-químicos como el oxígeno disuelto es indispensable en la reducción de nutrientes y para la actividad bacteriana en agua residuales acuícola. Mediante el experimento se obtuvieron concentraciones variadas de oxígeno disuelto, causando una disminución, de oxígeno, lo cual genera en consecuencia una demanda de oxígeno, sin embargo, los resultados obtenidos de oxígeno disuelto fueron mejores a los resultados obtenidos por Biswas et al., (2021) quien detecto reducción de oxígeno disuelto 87,2% en 48 horas.

La temperatura y el pH, son factores fundamentales para el crecimiento bacteriano. Según Ringleben et al., (2022), las mejores condiciones para el crecimiento bacterianos se dieron a temperatura de 38,7⁰C y pH de 7,5. Las condiciones fisicoquímicas influyen en la reducción de sustancias tóxicas mejorando el rendimiento de las bacterias. Biswas et al.,

(2021) encontró que pH de 4,02 – 4,58, debido a la aplicación de fuente carbono (melaza) para incrementar la cantidad de bacterias que actúen en la reducción de sustancia toxica. La reducción de pH en el agua es debido a las bacterias ácido-lácticas que contiene la melaza para fermentar la bacteria teniendo mejores resultados de reducción de sustancias toxicas como MO, NH₄, NO₃, NO₂ y PO₄ (Biswas et al., 2021).

9 CONCLUSIÓN

Se logró determinar el tiempo de funcionamiento de la biorremediación de la MO mediante la aplicación de tres complejos microbianos en el suelo, presentando una disminución de porcentaje de MO. El análisis de la materia orgánica y nutrientes disueltos en el agua, durante el procedimiento, se determinó la reducción de MO y flujo de nutrientes (amonio, nitrito, nitratos y fosfatos) y parámetros físicos químicos (oxígeno, pH y temperatura).

Se disminuyó la concentración de materia orgánica de manera significativa obteniendo un 45,84% para-PA, un 38,81% para PC y un 32,68% para PB, el PA fue el tratamiento más eficiente en porcentaje de reducción. En los tres productos el comportamiento del pH, temperatura y oxígeno disuelto fue similar. Este estudio cumplió con el objetivo de determinar el efecto del PA, PB y PC en la biorremediación de la materia orgánica en suelos acuícolas en un periodo de 48 horas, despertando gran interés por su efectividad y el tipo de organismo empleado.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de quíbor. Ii. Calidad del suelo. *Bioagro*, ISSN-e 2521-9693, ISSN 1316-3361, Vol. 33, N°. 2, 2021, Págs. 127-134, 33(2), 127–134. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.6>
- Alfiansah, Y. R., Hassenrück, C., Kunzmann, A., Taslihan, A., Harder, J., & Gärdes, A. (2018). Bacterial abundance and community composition in pond water from shrimp aquaculture systems with different stocking densities. *Frontiers in Microbiology*, 9(OCT), 360865. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02457/bibtex>
- Arias Cango, M. A., Morán Arellano, R. A., & Burgos Valverde, F. D. (2020). Análisis de la relación entre los métodos de alimentación del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* con los parámetros de producción, calidad de suelo y agua, en sistemas de cultivos semi-intensivos de granjas camaroneras localizadas en la provincia de El Oro. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50601>
- Artha, O. A., Sudarno, Pramono, H., & Sari, L. A. (2019). Identification of extracellular enzyme-producing bacteria (proteolytic, cellulolytic, and amylolytic) in the sediment of extensive ponds in Tanggulejo, Gresik. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012003>

- Barman, D. (2020). Bioremediation of Waste Waters and Application in Aquaculture - A Mini Review. *Research Biotica*, 2(1), 20–25. <https://doi.org/10.54083/resbio.2.1.2020.20-25>
- Bergstedt, J. H., Skov, P. V., & Letelier-Gordo, C. O. (2022). Efficacy of H₂O₂ on the removal kinetics of H₂S in saltwater aquaculture systems, and the role of O₂ and NO₃⁻. *Water Research*, 222, 118892. <https://doi.org/10.1016/J.watres.2022.118892>
- Berrocal, M., Silvestre, L., & Carrillo, R. (2021). Contenido de materia orgánica y textura del suelo en el desempeño biológico de larvas de *P. herrmanni* Germ. *Agro Sur*, 49(3). <https://doi.org/10.4206/agrosur.2021.v49n3-03>
- Bhandari, S., Poudel, D. K., Marahatha, R., Dawadi, S., Khadayat, K., Phuyal, S., Shrestha, S., Gaire, S., Basnet, K., Khadka, U., & Parajuli, N. (2021). Microbial Enzymes Used in Bioremediation. *Journal of Chemistry*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8849512>
- Biswas, T., Bhushan, S., Prajapati, S. K., & Ray Chaudhuri, S. (2021). An eco-friendly strategy for dairy wastewater remediation with high lipid microalgae-bacterial biomass production. *Journal of Environmental Management*, 286, 112196. <https://doi.org/10.1016/J.jenvman.2021.112196>
- Boyd, C. (2019). La preparación del estanque de camarones es crucial para la producción y prevención de enfermedades. *Seafood Advocate*, 1. <https://www.globalseafood.org/advocate/la-preparacion-del-estanque-de-camarones-es-crucial-para-la-produccion-y-prevencion-de->

enfermedades/#:~:text=La%20prevenci%C3%B3n%20de%20enfermedades%20es,utilizada%20para%20llenar%20los%20estanques.

Burbano-Gallardo, E., Duque-Nivia, G., Imues-Figueroa, M., Gonzalez-Legarda, E., Delgado-Gómez, M., & Pantoja-Díaz, J. (2021). Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamuez, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:1581

Castro Feijoo, J. L. (2021). *Análisis comparativo de dos bacterias (Pro 4000x y Hgs7) utilizadas en procesos de biorremediación en las piscinas del cultivo de Litopenaeus vannamei de la empresa acuícola San Andrés (El Oro)*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17185>

Chaverra-Garcés, S. C. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: alternativas para una gestión sostenible. *Orinoquia*, 26(1), 53–64. <https://doi.org/10.22579/20112629.731>

Chen, Y., Miao, Y., Li, J. Y., & He, W. (2023). Sediment remediation using submerged plants mitigated the bioaccumulation of organic contaminants in benthic organisms in simulated freshwater aquaculture ponds. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 109722. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2023.109722>

- Coello, S. J., Juan, O., Román, D., Escuela, E., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2020). *Efecto del acuamimetismo en la pre-cría de camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*. <https://bdigital.zamorano.edu/items/c21ce069-a501-490d-91db-686b4cc67e73>
- Collaguazo Yépez, L. A., & Tenorio Moya, E. M. (2018). *Elaboración de biopreparados a base de Bacillus sp. para controlar Alternaria spp. en el cultivo de Brassica oleracea var. italica*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15116>
- Dawood, M. A. O., Koshio, S., Abdel-Daim, M. M., & Van Doan, H. (2019). Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 907–924. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12272>
- Decana, P. (2019). Biorremediación del agua recirculante en cultivo de camarón blanco utilizando microbiota autóctono del mangle rojo. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográfica*, 21(42). <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/54281.pdf>
- Dong, D., Sun, H., Qi, Z., & Liu, X. (2021). Improving microbial bioremediation efficiency of intensive aquacultural wastewater based on bacterial pollutant metabolism kinetics analysis. *Chemosphere*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129151>
- El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Patra, A. K., Kar, I., Tiwari, R., Dawood, M. A. O., Dhama, K., & Abdel-Latif, H. M. R. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish & Shellfish Immunology*, 117, 36–52. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2021.07.007>

- Espinoza, B., & Gricelda, J. (2020). *Prevención de la proliferación de patógenos mediante la acción de los microorganismos en el suelo de piscinas camaroneras*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16107>
- Feng, Y., Hu, J., Chen, Y., Xu, J., Yang, B., & Jiang, J. (2022). Ecological effects of antibiotics on aquaculture ecosystems based on microbial community in sediments. *Ocean & Coastal Management*, 224, 106173. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2022.106173>
- Fitriani, M., Wudtisin, I., & Kaewnern, M. (2020). The impacts of the single-use of different lime materials on the pond bottom soil with acid sulfate content. *Aquaculture*, 527. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735471>
- Flores-Aguilar, D., Romero-Córdova, M., Trujillo-Vázquez, V., González, A. G., & Juela, O. (2021). Análisis multitemporal de la superficie ocupada por la cría de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en los manglares del archipiélago de Jambelí, cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 10(2), 146–160. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/830>
- Fossmark, R. O., Vadstein, O., Rosten, T. W., Bakke, I., Košeto, D., Bugten, A. V., Helberg, G. A., Nesje, J., Jørgensen, N. O. G., Raspati, G., Azrague, K., Østerhus, S. W., & Attramadal, K. J. K. (2020). Effects of reduced organic matter loading through membrane filtration on the microbial community dynamics in recirculating aquaculture systems (RAS) with Atlantic salmon parr (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 524, 735268. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735268>

- Gavino Arias, E. T. (2017). *Revisión acerca de la utilización de microorganismos en el mejoramiento de sedimentos en granjas camaroneras*.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10512>
- Gómez, S., Hurtado, C. F., & Orellana, J. (2019). Bioremediation of organic sludge from a marine recirculating aquaculture system using the polychaete *Abarenicola pusilla* (Quatrefages, 1866). *Aquaculture*, 507.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.033>
- González-León, L. M., Rizo Porro, M., & Arenal Cruz, A. (2022). *Bacillus firmus*: aplicaciones y potencialidades como probiótico en la acuicultura. *Revista de Producción Animal*, 34(2), 1–12. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202022000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gorito, A. M., Lado Ribeiro, A. R., Pereira, M. F. R., Almeida, C. M. R., & Silva, A. M. T. (2022). Advanced oxidation technologies and constructed wetlands in aquaculture farms: What do we know so far about micropollutant removal? *Environmental Research*, 204, 111955. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.111955>
- Hasibuan, S., Syafriadiman, S., Aryani, N., Fadhli, M., & Hasibuan, M. (2023). The age and quality of pond bottom soil affect water quality and production of *Pangasius hypophthalmus* in the tropical environment. *Aquaculture and Fisheries*, 8(3).
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.11.006>

- Hlordzi, V., Kuebutornye, F. K. A., Afriyie, G., Abarike, E. D., Lu, Y., Chi, S., & Anokyewaa, M. A. (2020). The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*, 18, 100503. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2020.100503>
- James, G., Das, B. C., Jose, S., & Rejish, R. K. (2021). *Bacillus* as an aquaculture friendly microbe. *Aquaculture International* 2021 29:1, 29(1), 323–353. <https://doi.org/10.1007/S10499-020-00630-0>
- Jasmin, M. Y., Syukri, F., Kamarudin, M. S., & Karim, M. (2020). Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: Review article. *Aquaculture*, 519, 734905. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2019.734905>
- John, E. M., Krishnapriya, K., & Sankar, T. V. (2020). Treatment of ammonia and nitrite in aquaculture wastewater by an assembled bacterial consortium. *Aquaculture*, 526, 735390. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735390>
- Joyni, M. J., Kurup, B. M., & Avnimelech, Y. (2011). Bioturbation as a possible means for increasing production and improving pond soil characteristics in shrimp-fish brackish water ponds. *Aquaculture*, 318(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.019>
- Juárez-Rosales, J., Ponce-Palafox, J. T., Román-Gutiérrez, A. D., Otazo-Sánchez, E. M., Marmolejo-Santillán, G. P. F. Y., Tapia-Varela, R., & Benítez-Mandujano, M. A. (2022). Factores técnicos del manejo de la calidad agua y sedimento en policultivo

camarón-tilapia en estanques. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2147–e2147.

<https://doi.org/10.21897/RMVZ.2147>

Kamilya, D., & Devi, W. M. (2022). *Bacillus Probiotics and Bioremediation: An Aquaculture Perspective*. 335–347. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2_15

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>

Kuebutornye, F. K. A., Abarike, E. D., & Lu, Y. (2019). A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, 87, 820–828. <https://doi.org/10.1016/J.FSI.2019.02.010>

Leal-Mendoza, A. I., García-Gallegos, E., Vázquez-Cuecuecha, O. G., & Hernández-Acosta, E. (2023). *Análisis multivariado de suelos irrigados con aguas residuales de la acuicultura I Multivariate analysis of soils irrigated with aquaculture wastewater*. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50028>

Letelier-Gordo, C. O., Aalto, S. L., Suurnäkki, S., & Pedersen, P. B. (2020). Increased sulfate availability in saline water promotes hydrogen sulfide production in fish organic waste. *Aquacultural Engineering*, 89, 102062. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2020.102062>

- Lopes, G. R. (2021). *Estratégias de biorremediação de sedimentos em viveiros de piscicultura com bactérias do gênero Bacillus: estudo em escala laboratorial*. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226810>
- Luna, C. B., Vergara-González, L., & Castro, E. (2021). Erratum: Potencial aplicación de bacterias ácido lácticas en sistemas de tratamiento de agua (Ecosistemas 30:2 2224 Doi:10.7818/ECOS.2224). In *Ecosistemas* (Vol. 30, Issue 3). Asociacion Espanola de Ecologia Terrestre. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2334>
- Mamidala, S. P., Ch, B., B, Y., B, R., R, M., Ch, B. P., Kummari, S., & B, R. (2021). A review on resilience of microbes in aquatic environment. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(2). <https://doi.org/10.22271/j.ento.2021.v9.i2q.8659>
- Martínez-Córdova, L. R., Robles-Porchas, G. R., Vargas-Albores, F., Porchas-Cornejo, M. A., & Martínez-Porchas, M. (2022). Microbial bioremediation of aquaculture effluents. *Microbial Biodegradation and Bioremediation*, 409–417. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85455-9.00009-6>
- Melgar Valdes, C. E., Barba Macías, E., Álvarez-González, C. A., Tovilla Hernández, C., & Sánchez, A. J. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1215–1228. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000400018&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Muras, A., Romero, M., Mayer, C., & Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Https://Doi.Org/10.1080/07388551.2021.1873239*, 41(4), 609–627. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873239>
- Murcia Mena, L. J. (2020). Rendimiento productivo de tres densidades de siembra de camarón blanco (*litopenaeus vannamei*) en la estación de maricultura, los Cóbanos, Sonsonate. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/articulo/view/173>
- Navarrete Álava, J., Noles Aguilar, P., Delgado Villafuerte, C., Hernández de Guerrero, N., & Guerrero-Ríos, R. (2022). *Biorremediación de efluentes del cultivo de camarón por medio de consorcios microbianos autóctonos y microalgas nativas en Manabí, Ecuador*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6536004>
- Noriega Alcántara, W. F. (2023). Caracterización molecular de bacterias con capacidad biorremediadora, aislados de canales de marea aledaños a zonas de cultivo de langostino de Tumbes. *Universidad Nacional de Tumbes*. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64006>
- Oliveira, H. M. de. (2021). *Redução de matéria orgânica com aplicação de Bacillus subtilis e B. licheniformis em sedimentos provenientes de viveiro de policultivo de Litopenaeus vannamei com Oreochromis niloticus*. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230891>

- Oliveira, H. M., Owatari, M. S., Martins, M. A., Lopes, G. R., Ferreira, M. B., Jesus, G. F. A., de Godoi, L. A., Shapira, B., Martins, M. L., & Mouriño, J. L. P. (2023). Probiotic BioPlus® PS modulate shrimp-tilapia polyculture pond soil microbiome and exhibit bioremediation potential. *Journal of Applied Aquaculture*. <https://doi.org/10.1080/10454438.2023.2185562>
- Olmos, J., Acosta, M., Mendoza, G., & Pitones, V. (2020). *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of Microbiology*, 202(3), 427–435. <https://doi.org/10.1007/S00203-019-01757-2/METRICS>
- Pal, A. K., Singh, J., Soni, R., Tripathi, P., Kamle, M., Tripathi, V., & Kumar, P. (2020). The role of microorganism in bioremediation for sustainable environment management. *Bioremediation of Pollutants: From Genetic Engineering to Genome Engineering*, 227–249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819025-8.00010-7>
- Ringleben, L., Weise, T., Truong, H. T. T., Anh, L. H., & Pfaff, M. (2022). Experimental and model-based characterisation of *Bacillus spizizenii* growth under different temperature, pH and salinity conditions prior to aquacultural wastewater treatment application. *Biochemical Engineering Journal*, 187, 108630. <https://doi.org/10.1016/J.BEJ.2022.108630>
- Robinson, G., Caldwell, G. S., Jones, C. L. W., & Stead, S. M. (2019). The effect of resource quality on the growth of *Holothuria scabra* during aquaculture waste bioremediation. *Aquaculture*, 499, 101–108. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.09.024>

- Ron, E., Tamayo, M. J., Plua del Valle, F., & Vera, K. (2020). Técnicas eficientes para el monitoreo y evaluación de biorremediación. *Panorama Acuicola Magazine*, 25(3), 88-91. https://issuu.com/designpublications/docs/panorama_acuicola_25-3_marzo_abril_2020_digital
- S. Avunje, N. L. M. M. P. K. P. and S. V. A. (2022). *Bioremediation options in aquaculture for improving pond environment*. <http://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/76059>
- Shafi, J., Waheed, K. N., Mirza, Z. S., & Zafarullah, M. (2021). Assessment of soil quality for aquaculture activities from four divisions of Punjab, Pakistan. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 31(2), 556–566. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2021.2.0244>
- Shivalkar, S., Singh, V., Sahoo, A. K., Samanta, S. K., & Gautam, P. K. (2021). Bioremediation: a potential ecological tool for waste management. *Bioremediation for Environmental Sustainability: Approaches to Tackle Pollution for Cleaner and Greener Society*, 1–21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820318-7.00001-0>
- Soltani, M., Ghosh, K., Hoseinifar, S. H., Kumar, V., Lymbery, A. J., Roy, S., & Ringø, E. (2019). Genus bacillus, promising probiotics in aquaculture: Aquatic animal origin, bio-active components, bioremediation and efficacy in fish and shellfish. In *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* (Vol. 27, Issue 3). <https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1597010>

- Torun, F., Hostins, B., Teske, J., De Schryver, P., Boon, N., & De Vrieze, J. (2020). Nitrate amendment to control sulphide accumulation in shrimp ponds. *Aquaculture*, 521, 735010. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735010>
- Vasava, R. (2020). Bioremediation: A tool for sustainable development of aquaculture. *Article in JOURNAL OF ENTOMOLOGY AND ZOOLOGY STUDIES*. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue9/PartI/10-8-322-305.pdfViewproject>
- Vélez-Alvarado, D. A., & Álvarez-Mozos, J. (2020). Clasificación de usos y cubiertas del suelo y análisis de cambios en los alrededores de la Reserva Ecológica Manglares Churute (Ecuador) mediante una serie de imágenes Sentinel-1. *Revista de Teledetección*, 56. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.14099>
- Vinothkumar, R., Dar, J. Y., Bharti, V. S., Singh, A., Vennila, A., Bhat, I. A., & Pandey, P. K. (2021). Heterotrophic nitrifying and aerobic denitrifying bacteria: Characterization and comparison of shrimp pond and effluent discharge channel in aspects of composition and function. *Aquaculture*, 539, 736659. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2021.736659>
- Wang, Q., Rossignoli, C. M., Brako Dompok, E., -, al, John Gustav Henriksson, P., Banks, L. K., Suri, S. K., H Dat, T. T., T Tam, V. T., K Dung, T. T., Bui, L. M., T Anh, H. L., & T Oanh, P. T. (2019). Isolation and screening of cellulose and organic matter degrading bacteria from aquaculture ponds for improving water quality in aquaculture.

IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 266(1), 012002.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/266/1/012002>

Wang, Q., Wen, Y., Zhao, B., Hong, H., Liao, R., Li, J., Liu, J., Lu, H., & Yan, C. (2021). Coastal soil texture controls soil organic carbon distribution and storage of mangroves in China. *Catena*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105709>

Wei, Y., Shen, D., Lukwambe, B., Wang, Y., Yang, W., Zhu, J., Nicholaus, R., & Zheng, Z. (2022). The exogenous compound bacteria alter microbial community and nutrients removal performance in the biofilm unit of the integrated aquaculture wastewater bioremediation systems. *Aquaculture Reports*, 27, 101414. <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2022.101414>

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>

Wu, L., Yang, P., Zhang, L., Luo, L., Hong, Y., Zhu, W., Zheng, L., Zhao, G., Tong, C., & Peñuelas, J. (2023). Sediment sulfate content determines assembly processes and network stability of bacteria communities of coastal land-based shrimp aquaculture ponds. *Aquaculture*, 563. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738953>

Yang, L., Chen, Y., Lei, J., & Zhu, Z. (2022). Effects of coastal aquaculture on sediment organic matter: Assessed with multiple spectral and isotopic indices. *Water Research*, 223, 118951. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2022.118951>

ANEXOS

Anexo 1 Obtención de muestra de suelo en piscina camaronera.



Anexo 2 Homogenización de muestra de suelo más balanceado.



Anexo 4 Preparación de unidad experimental inicio del experimento.



Anexo 3 Aplicación de fermento de productos comerciales PA, PB y PC en suelo.



Anexo 6 Medición de pH y temperatura mediante la actividad bacteriana.



Anexo 5 Biorremediación de suelo durante 48 hora.



Anexo 8 Secado de muestra de suelo a 90oC por 2 horas (estufa).



Anexo 7 Secado de muestra de suelo a 600oC por 1 hora (mufla).



Anexo 10 Muestra de suelo para determinar materia orgánica.



Anexo 9 Preparación de unidad experimental inicio del experimento.



Anexo 12 ANEXO K Medición de sustancia toxica (Amonio).



Anexo 11 Medición de nutrientes NO₂, NO₃, PO₄.

