

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y CIENCIAS
DEL MAR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA
ACUÍCOLA



**Efecto de la aplicación de dos consorcios bacterianos
comerciales en la biorremediación de materia orgánica en el
cultivo de *Penaeus vannamei***

TESIS

Para optar el Título profesional de ingeniero pesquero acuícola

Autores:

Br. Steeven Jeampierr Suárez Mena

Br. Anthony Adrian Alvarez Atocha

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y CIENCIAS
DEL MAR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA
ACUÍCOLA



**Efecto de la aplicación de dos consorcios bacterianos
comerciales en la biorremediación de materia orgánica en el
cultivo de *Penaeus vannamei***

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Oscar Augusto Mendoza Neyra

PRESIDENTE

Mg. Milton Sócola Sunción

SECRETARIO

Mg. Ronald García Camizán

VOCAL

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y CIENCIAS
DEL MAR
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PESQUERA
ACUÍCOLA



**Efecto de la aplicación de dos consorcios bacterianos
comerciales en la biorremediación de materia orgánica en el
cultivo de *Penaeus vannamei***

**Los suscritos declaramos que la tesis es original en su
contenido y forma:**

Steeven Jeampierr Suárez Mena



Autor

Anthony Adrian Alvarez Atocha




Autor

Ing. Ronald García Camizan
Código ORCID:0000-0002-27172860



Asesor

Ing. Jose Serna Cruz
Código ORCID:0000-0002-8508-0518



Co-asesor

Tumbes, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
VICERRECTORADO ACADEMICO
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y CIENCIAS DEL MAR

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puerto Pizarro, el día veinte del mes de mayo del dos mil veintiséis, siendo las trece horas, en el aula A-5 de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar de la UNTUMBES, se reunieron el Jurado Calificador, designado con Resolución N° 023-2023/UNTUMBES-FIPCM-D. Debido a la ausencia del Dr. AUBERTO HIDALGO MOGOLLON (Presidente), por motivo de salud, y haciendo uso del artículo 73 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, el miembro accesorio asume la secretaria y el secretario asume la Presidencia, quedando el jurado como se indica: Dr. OSCAR AUGUSTO MENDOZA NEYRA (Presidente), Mg MILTON SANDRO SOCOLA SUNCION (Secretario) y el Mg. RONALD GARCÍA CAMIZÁN (Vocal – asesor, CODIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860) y al Ing. JOSÉ ALBERTO SERNA CRUZ (CODIGO ORCID N° 0000-0002-8508-0518) como Coasesor, luego de la presentación, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada "Efecto de la aplicación de dos consorcios bacterianos en la biorremediación de materia orgánica en el cultivo de *Litopenaeus vannamei*", para optar el Título Profesional de INGENIERO PESQUERO ACUICOLA, presentado por los:

Br. STEEVEN JEAMPIERR SUÁREZ MENA y Br. ANTHONY ADRIÁN ÁLVAREZ ATOCHA

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de los sustentantes y después de la deliberación, el jurado, según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a los Bachilleres:


STEEVEN JEAMPIERR SUÁREZ MENA Aprobado....., con calificativo: Bueno
ANTHONY ADRIÁN ÁLVAREZ ATOCHA Aprobado....., con calificativo: Bueno

Se hace conocer a los sustentantes, que deberán levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el Jurado le indica.


En consecuencia, quedan aptos para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Pesquero Acuicola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General de la UNTUMBES, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las 13 horas y 41 minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta de sustentación.

Tumbes, 20 de mayo 2026


Dr. OSCAR A. MENDOZA NEYRA
CODIGO ORCID N° 0000-0002-9637-6250
DNI. N° 00201986
Presidente


Mg. MILTON S. SÓCOLA SUNCIÓN
CODIGO DE ORCID N° 000-0001-9392-5499
DNI. N° 00241901
Secretario


Mg. RONALD GARCÍA CAMIZÁN
CODIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860
DNI. N° 70521447
Vocal y Asesor

C.C.:

- Jurado (03) - Asesor: Mg. RONALD GARCIA C. Coasesor Ing. JOSE SERNA C.
- Interesados - Archivo Decanato.

Los Ceibos S/N. Puerto Pizarro. Tumbes – Perú

Steeven Jeampierr Suárez Mena

TESIS SUAREZ Y ALVAREZ 03.09.2025

 Steeven Jeampierr Suarez Mena

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:491408740

Fecha de entrega

3 sept 2025, 22:33 GMT-5

Fecha de descarga

3 sept 2025, 22:37 GMT-5

Nombre del archivo

TESIS SUAREZ Y ALVAREZ 03.09.2025.docx

Tamaño del archivo

4.9 MB

47 páginas

8288 palabras

47.553 caracteres



Mg. RONALD GARCÍA CAMIZÁN
CODIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860
DNI. N° 70521447
Asesor




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Mg. RONALD GARCÍA CAMIZÁN
CODIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860
DNI. N° 70521447
Asesor

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	1%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2019-06-19	<1%
3	Internet	idus.us.es	<1%
4	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2018-07-14	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2019-04-16	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2018-08-01	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-07-31	<1%
9	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%
10	Internet	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe	<1%
11	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2020-09-19	<1%


Mg. RONALD GARCÍA CAMIZÁN
 CODIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860
 DNI. N° 70521447
Asesor

12	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-07-24	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Politécnica Estatal de Carchi on 2025-06-16	<1%
15	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2024-01-17	<1%
17	Internet	repositorio.unapiquitos.edu.pe	<1%



Mg. RONALD GARCÍA CAMIZÁN
CÓDIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860
DNI. N° 70521447
Asesor

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Yo, STEEVEN JEAMPIERR SUAREZ MENA, declaro que los resultados reportados en este informe de tesis son de mi exclusiva autoría. Así mismo declaro que, hasta donde tengo conocimiento, este documento no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, excepto en los casos donde se reconoce debidamente a través de citas correspondientes y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En tal sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría.

Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo, contando con la dirección y apoyo de los asesores y el jurado calificador en cuanto a la concepción, el estilo de la presentación y la expresión de ideas.

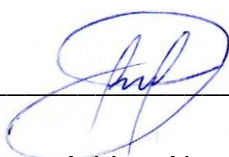


Br. Steeven Jeampierr Suárez Mena

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Yo, ANTHONY ADRIAN ALVAREZ ATOCHA, declaro que los resultados reportados en este informe de tesis son de mi exclusiva autoría. Así mismo declaro que, hasta donde tengo conocimiento, este documento no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona, excepto en los casos donde se reconoce debidamente a través de citas correspondientes y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En tal sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría.

Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo, contando con la dirección y apoyo de los asesores y el jurado calificador en cuanto a la concepción, el estilo de la presentación y la expresión de ideas.



Br. Anthony Adrian Alvarez Atocha

DEDICATORIA

Este informe está dedicado con profundo amor y gratitud a mis padres, Ema y Estuardo, por su amor infinito, su sacrificio constante y la fe inquebrantable que depositaron en mí. Este logro no habría sido posible sin su guía, apoyo y ejemplo de perseverancia. Asimismo, extendo esta dedicatoria a mis hermanos, cuya alegría y compañía fueron un sostén valioso a lo largo de este camino. De manera especial, dedico también este trabajo a mi esposa e hijo, por ser su mayor inspiración y fuerza para seguir adelante día tras día.

Steeven

Este informe está dedicado a Dios, fuente constante de sabiduría, fortaleza y esperanza en cada etapa de mi vida. A mis padres, Gonzalo y Merci, por el amor inmenso que siempre me brindaron y por haberme enseñado, con su ejemplo, el verdadero significado del esfuerzo, la disciplina y la perseverancia. También dedica este logro a toda mi familia, por el apoyo incondicional que supieron ofrecerme en cada momento crucial. Finalmente, extendo esta dedicatoria a mi amigo especial, Steeven, por su apoyo sincero y desinteresado sin su acompañamiento, esta tesis no habría sido posible.

Anthony

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a Dios, por brindarnos la sabiduría, fortaleza y perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de nuestra formación profesional.

Agradecemos profundamente a nuestro asesor, Ing. Mg Ronald García Camizan, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a nuestro coasesor, Ing José Serna, por su apoyo constante, sus observaciones oportunas y su acompañamiento académico.

De igual manera, expresamos nuestra gratitud a cada uno de nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera por compartir sus conocimientos, por sus exigencias y por haber contribuido a nuestra formación académica a lo largo de estos años.

A nuestras familias, por ser el pilar más firme en este camino. Gracias por su amor, sacrificio y apoyo incondicional, incluso en los momentos más difíciles. Sin su respaldo, este logro no habría sido posible.

Finalmente, agradecemos a nuestros amigos y compañeros de estudio, por su compañerismo, apoyo mutuo y por haber formado parte de esta inolvidable etapa universitaria.

ÍNDICE

DEDICATORIA	xi
AGRADECIMIENTO	xii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUCCIÓN.....	20
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1. BASE TEÓRICO CIENTÍFICO	22
2.1.1. CONTAMINACIÓN DE SUELOS ACUÍCOLAS.....	22
2.1.2. BIORREMEDIACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS	23
2.1.3. BACTERIAS BIORREMIADORAS USADAS EN ACUICULTURA	24
2.2. ANTECEDENTES	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	27
2.3.1. MATERIA ORGÁNICA	27
2.3.2. BACTERIAS HETEROTRÓFICAS.....	27
2.3.3. BIORREMEDIACIÓN.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	28
3.2. TIPOS Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	29
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	29
3.3.1. POBLACIÓN.....	29
3.3.2. MUESTRA Y MUESTREO.....	29
3.4. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	30
3.4.1. MATERIAL BIOLÓGICO	30
3.4.2. APLICACIÓN DE BACTERIAS PROBIÓTICAS COMERCIALES	32

3.4.3.	CONDICIONES EXPERIMENTALES	32
3.5.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	33
3.5.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL	33
3.5.2.	RECOLECCIÓN DE DATOS	34
3.5.3.	EVALUACIÓN ESTADÍSTICA	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1.	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MUESTRA SUELO	37
4.2.	PRUEBA DE CELULASA Y PROTEASA	38
4.3.	DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	39
V.	CONCLUSIONES.....	43
VI.	RECOMENDACIONES	44
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros físico-químicos del suelo al inicio del estudio.....	38
Tabla 2. Diámetro de halos de hidrólisis obtenidos en la prueba de celulasa y proteasa con los Bioremediadores A y B.....	40
Tabla 3. Porcentaje de materia orgánica del suelo para los tratamientos (Bioremediador A, Bioremediador B y control) al inicio y después de los siete días de su aplicación.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del centro de producción acuícola “Camaronera Alegría” Puerto Pitahaya-El Oro-Ecuador (Fuente: Google earth, 2024).....	28
Figura 2. Ubicación del Laboratorio AgroAcuAnálisis, Tumbes, Perú. (Fuente: Google earth, 2024)	28
Figura 3. Muestra de suelos extraído de las unidades experimentales.....	30
Figura 4. Colecta de muestras de suelo procedentes de un estanque de cultivo semi-intensivo de <i>Penaeus vannamei</i> que fueron usados para las unidades experimentales.	30
Figura 5. Aplicación de los biorremediadores comerciales A y B en las unidades experimentales	32
Figura 6. Diseño experimental, donde se detallan los tratamientos (T1 y T2) y control (C) con sus respectivas réplicas (1, 2 y 3).	33
Figura 7. Biorremediadores comerciales A y B suspendidos en caldo TSB en una proporción 1:10.	34
Figura 8. Pruebas de celulasa y proteasa en el laboratorio AgroAcuAnálisis .	35
Figura 9. Determinación de materia orgánica por el método descrito por Nelson y Sommers (1996). (A) muestra de suelo molido < 2mm y peso dentro de Matraces y (B) muestra de suelo procesado.	35
Figura 10. Halos de hidrólisis: (a y b) prueba de celulasa y (c y d) prueba de proteasa con los Bioremediadores A (A) y Bioremediador B (B). La flecha de color negro indica el halo de hidrolisis.	39
Figura 11. Porcentaje de materia orgánica del suelo por tratamiento al inicio y final del estudio.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diámetro de halos de hidrolisis de las pruebas de celulasa y proteasa con los Bioremediadores A y B	51
Anexo 2. Datos descriptivos de los halos de hidrolisis de las pruebas de celulasa y proteasa utilizando los Bioremediadores A y B.	52
Anexo 3. Análisis de varianza de los halos de hidrolisis de las pruebas de celulasa y proteasa utilizando los Bioremediadores A y B.	53
Anexo 4. Porcentaje de materia orgánica del suelo de la unidad de producción de <i>Litopenaeus vannamei</i> con los tratamientos (1 y 2) y control.	53
Anexo 5. Datos descriptivos del porcentaje de materia orgánica del suelo de la unidad de producción de <i>Litopenaeus vannamei</i> con los tratamientos (1 y 2) y control.....	54
Anexo 6. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica del suelo de la unidad de producción de <i>Litopenaeus vannamei</i> con los tratamientos (1 y 2) y control.....	54

Efecto de la aplicación de dos consorcios bacterianos comerciales en la biorremediación de materia orgánica en el cultivo de *Penaeus vannamei*

Estd. Steeven Jeampierre Suárez Mena¹
Estd. Anthony Adrian Alvarez Atocha¹
Mg. Ronald García Camizan²
Ing. Serna Cruz José Alberto³

RESUMEN

El objetivo fue medir el efecto de la aplicación de consorcios bacterianos comerciales en la biorremediación de la materia orgánica en suelo de cultivo de *Penaeus vannamei*, después de siete días de su aplicación. La población consistió de 18 kg de suelo extraído de un estanque de producción de *Penaeus vannamei*, de los cuales se distribuyó 2 kg de suelo al azar en cada balde (unidades experimentales) de 5 L de capacidad, el diseño experimental verdadero estuvo conformado por dos tratamientos: Tratamiento 1 (Biorremediador A conformado con el consorcio bacteriano *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis*) y tratamiento 2 (Biorremediador B conformado por *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus lactis* y *Nitrosomonas* sp.) y un control o testigo (Sin Biorremediador), con una única dosis de 1 ml (1×10^8 UFC/mL) por kilogramo de suelo. Al final del estudio el Biorremediador A obtuvo mayor ($p < 0,05$), poder de degradación de fuentes de carbono y nitrógeno en la prueba de celulosa y proteasa con $15,33 \pm 0,58$ mm y $17,00 \pm 1,00$ mm, respectivamente, que el Biorremediador B y el tratamiento 1 obtuvo $8,76 \pm 0,30$ %, menor ($p < 0,05$) al tratamiento 2 y control con $9,82 \pm 0,14$ % y $10,28 \pm 0,09$ %, respectivamente. Se concluyó que el tratamiento 1 con el Biorremediador A reduce los compuestos orgánicos de suelo en los estanques de cultivo de *L. vannamei* a diferencia del Biorremediador B.

Palabras clave: *Penaeus vannamei*, consorcio bacteriano, suelo, celulosa, proteasa, materia orgánica.

¹Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Pesquera Acuícola de la Universidad Nacional de Tumbes

²Asesor y Docente principal de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar de la Universidad Nacional de Tumbes. Informe Investigación

³Co-asesor y coordinador de Laboratorio de la empresa AgroAcuAnálisis S.R.L.

Tesis presentada para obtener el título profesional de Ingeniero Pesquero Acuícola

Facultad de Ingeniería Pesquera Acuícola y ciencias del mar

Escuela Académica Profesional de Ingeniería Pesquera Acuícola

Calle Los Ceibos S/N Puerto Pizarro, Tumbes, Perú

e-mail: anthonyunt1999@gmail.com

e-mail: steevensuarezm@gmail.com

Effect of the application of two commercial bacterial consortia on the bioremediation of organic matter in the cultivation of *Penaeus vannamei*

Estd. Steeven Jeampierr Suárez Mena¹
Estd. Anthony Adrian Alvarez Atocha¹
Mg. Ronald García Camizan²
Ing. Serna Cruz José Alberto³

ABSTRACT

The objective was the effect of the application of commercial bacterial consortia on the bioremediation of organic matter in *Penaeus vannamei* cultivation soil, after seven days of their application. The population consisted of 18 kg of soil extracted from a *Litopenaeus vannamei* production pond, of which 2 kg of soil was distributed randomly in each bucket (experimental units) of 5 L capacity, the true experimental design was made up of two treatments: Treatment 1 (probiotic A made up of the bacterial consortium *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*) and treatment 2 (Probiotic B made up of *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus lactis* and *Nitrosomonas sp.*) and a control or control (No probiotic), with a single dose 1 ml (1x10⁸ CFU/mL) per kilogram of soil. At the end of the study, probiotic A obtained greater ($p < 0.05$) degradation power of carbon and nitrogen sources in the cellulase and protease test with $15,33 \pm 0,58$ mm and $17,00 \pm 1,00$ mm, respectively, that probiotic B and treatment 1 obtained $8,76 \pm 0,30\%$, lower ($p < 0,05$) than treatment 2 and control with $9,82 \pm 0,14\%$ and $10,28 \pm 0,09\%$, respectively. It was concluded that treatment 1 with probiotic A reduces soil organic compounds in the L. vannamei culture ponds unlike probiotic B.

Palabras clave: *Penaeus vannamei*, bacterial consortium, soil, cellulase, protease, organic matter.

¹Students of the School of Aquaculture Fishing Engineering at the National University of Tumbes

²Avisor and Main Teacher of the Faculty of Fishing Engineering and Marine Sciences at the National University of Tumbes. Research Report

³Co-advisor and Laboratory Coordinator of the company AgroAcuAnálisis S.R.L.

thesis presented to obtain the professional title of Aquaculture Fishing Engineer Faculty of Aquaculture Fishing Engineering and Marine

Sciences Academic Professional School of Aquaculture Fishing

Calle Los Ceibos S/N Puerto Pizarro, Tumbes, Perú

e-mail: anthonyunt1999@gmail.com

e-mail: steevensuarezm@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura a nivel mundial viene creciendo a pasos agigantados en los últimos tiempos y es considerada una de las actividades con mayor desarrollo, debido a la calidad de los alimentos que produce; asimismo, genera miles de puestos de trabajo para un gran número de personas. De la misma manera, la camaronicultura presenta expectativas positivas dentro de la acuicultura mundial; sin embargo, también conlleva riesgos significativos asociados a la presencia de patologías, crecimiento desordenado, impactos ambientales y al aumento de la cantidad de materia orgánica, lo cual conduce a procesos de degradación ambiental (García, 2019).

En las últimas décadas, el sector acuícola ha experimentado un notable crecimiento debido a la elevada demanda de alimentos provenientes de la acuicultura. En este contexto, países como Ecuador y Perú han incrementado la producción de camarón, aumentando las densidades de siembra, lo que ha provocado un incremento en la generación de desechos y, en consecuencia, la acumulación de materia orgánica en los suelos de los estanques. La producción acuícola mundial, entre 1990 y 2020, presentó una tasa media de crecimiento anual de 6,7 %, alcanzando una producción total de 122,58 millones de toneladas en el año 2020. De esta producción, el 9,17 % correspondió a la acuicultura de crustáceos, con 11,23 millones de toneladas, y del total de crustáceos producidos, el 11,27 % correspondió a la producción de langostino *Penaeus vannamei* (FAO, 2022).

La intensificación de los sistemas de producción en la industria acuícola se ha venido perfeccionando año tras año debido al avance tecnológico. Esta intensificación ha generado un aumento en las densidades de cultivo y, por ende, un mayor consumo de alimento, el cual es suministrado con mayor frecuencia.

La producción de *P. vannamei* en el Perú durante el año 2022 alcanzó las 31823 toneladas, lo que representó el 15,15 % de la producción nacional (Ministerio de la Producción, 2023). Por su parte, la producción de *P. vannamei*

en el Ecuador en el mismo año alcanzó 1 061 768 toneladas, lo que representó un incremento del 26 % en comparación con el año anterior (Cámara Nacional de Acuicultura, 2022). Este aumento progresivo de la producción proveniente del cultivo de *P. vannamei* ha ocasionado un incremento en los desechos acuícolas, generando impactos negativos tanto en la salud animal como en el medio ambiente.

La sobrecarga de materia orgánica en los estanques de cultivo de *P. vannamei* desencadena una serie de reacciones químicas que deterioran la calidad del agua y del suelo. La disminución del oxígeno disuelto favorece el desarrollo de bacterias anaeróbicas, las cuales producen sustancias tóxicas como metano, sulfuros y compuestos amoniacales. Estos compuestos representan una amenaza directa para la supervivencia de *P. vannamei* y comprometen la productividad de los cultivos a largo plazo. Según Boyd (1995), la fertilización excesiva y las excretas de los organismos aceleran este proceso, generando una acumulación de residuos contaminantes que pueden afectar de manera irreversible a los ecosistemas acuáticos.

En tal sentido, la presente tesis tuvo como finalidad evaluar dos tipos de consorcios bacterianos: el grupo A, conformado por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis*, y el grupo B, integrado por *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus lactis* y *Nitrosomonas* sp. Estos productos son comúnmente utilizados en el sector langostinero; no obstante, se desconoce su funcionalidad específica en la biorremediación del suelo. Esta situación conllevó a la realización de una prueba *in situ*, aplicando las dosis recomendadas por los fabricantes, con el objetivo de evaluar su eficiencia en la biorremediación de la materia orgánica presente en muestras de suelo extraídas de un estanque de cultivo semiintensivo de *Penaeus vannamei*.

Finalmente, este trabajo permitió seleccionar el producto de bacterias comerciales con mayor eficiencia, con la finalidad de ser aplicado a escala piloto y, posteriormente, en todas las unidades de producción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BASE TEÓRICO CIENTÍFICO

2.1.1. CONTAMINACIÓN DE SUELOS ACUÍCOLAS

FAO (2022), menciona que, la producción de alimento para la industria acuícola aumentará un 13% para el año 2030, debido principalmente a la intensificación y expansión de la producción de recursos hidrobiológicos, esto implica la generación de desechos de alimento en las unidades de producción y por ende mayor contaminación del medio acuático.

La industria acuícola del *Penaeus vannamei* enfrenta serios problemas ambientales en los sistemas de producción, debido a la generación de compuestos tóxicos nocivos como: compuestos nitrogenados, dióxido de carbono y sulfuros de hidrógeno, además, de las partículas en suspensión que al precipitar se acumulan al fondo de las unidades de producción, afectando la calidad del suelo y agua (Torres et al., 2018).

Del alimento suministrado en las unidades de producción, una parte es asimilada como nutrientes para los animales y otra parte se pierde por lixiviación y mediante las excreciones de los propios animales. Si ocurre una sobrealimentación esto puede incurrir a un aumento de residuos que llegan al fondo de las unidades de producción generando compuestos metabólicos que pueden deteriorar el medio acuático y provocar desechos que son liberados al medio ambiente sin ser tratados, ocasionando graves problemas (Ramírez & Almeida, 2020; Tyler, 2021).

El impacto ambiental de los ecosistemas acuáticos como los manglares son afectados principalmente por la industria langostinera. Las unidades de producción vierten los efluentes a estos ecosistemas generando pérdida de la productividad primaria, saturación por fuentes de carbono, aparición de nuevos factores ambientales estresantes, deficiencia de los filtros estuarinos y pérdida de la biodiversidad (De Lacerda et al., 2021).

La materia orgánica debe estar dentro de los rangos de 2 a 4% para los sistemas de producción acuícola, si sobrepasa esos rangos se puede observar complicaciones en el manejo del cultivo, la calidad del agua puede ser alterada

por los metabolitos tóxicos liberados al agua por los procesos de descomposición anaeróbicos del fondo, limitando la producción de especies bentónicas como el langostino *P. vannamei* de gran importancia económica (Boyd, 2017).

2.1.2. BIORREMEDIACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

El éxito de una buena producción de *P. vannamei* dependerá del manejo de los parámetros físico, químicos y biológicos de la calidad de agua y suelo de las unidades de producción, además señala que el deterioro de la calidad de agua y suelo puede ocasionar problemas de alimentación, crecimiento, supervivencia y estar propensos a ataques de agentes patógenos (Astudillo, 2021).

La carga de materia orgánica y nutrientes generados por los efluentes de la actividad acuícola son acumulados y biodegradados por los ecosistemas receptores, ocasionando la eutrofización. Para contrarrestar el impacto negativo de estos efluentes, se han implementado técnicas de biorremediación utilizando macroorganismos que han demostrado tener éxitos en la degradación de contaminación del agua y sedimentos con petróleo y otros compuestos contaminantes (Martínez-Córdova et al., 2022).

El tratamiento de las aguas residuales por biorremediación es disminuir la carga de materia orgánica e inorgánica y compuestos tóxicos. La intervención de los microorganismos en la degradación de estos compuestos se reduce al máximo hasta que los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) sean casi nulos. “La eficacia del tratamiento se expresa en términos de una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)” (Madigan et al., 2015, p. 709).

La biorremediación se puede llevar a cabo por procesos anaeróbicos y aeróbicos, este último proceso es más importante debido a que no genera compuestos altamente tóxicos. Los microorganismos como bacterias y hongos en condiciones óxicas producen enzimas oxigenasas, desatando la introducción de átomos de oxígeno a los compuestos orgánicos acelerando así los procesos de biodegradación. Por otra parte, para acelerar aún más estos procesos de oxidación en la mayoría de los casos aumentan la temperatura o se estimula con nutrientes inorgánicos básicamente nitrógeno y fósforo (Madigan et al., 2015).

Martinez-Porchas et al. (2014), los procesos biológicos para la biodegradación de compuestos orgánicos son muy complejos y su eficiencia dependerá principalmente de los factores ambientales, diversidad de la microbiana, biomasa microbiana y producción de enzimas. Por otra parte, los procesos de biodegradación pueden ser utilizados como biofloc en sistemas de cultivo acuático, los cuales son fuente de proteína, carbohidratos, grasas y vitaminas.

2.1.3. BACTERIAS BIORREMEDIADORAS USADAS EN ACUICULTURA

Los probióticos usados en acuicultura han producido varios beneficios y mejoras en el desempeño del crecimiento, resistencia a enfermedades, inmunoestimulación, al microbioma intestinal y la calidad del agua. Además, producen enzimas que permiten la asimilación de los nutrientes, como también ayudan a la degradación de compuestos orgánicos, como las enzimas proteasas y celulasas de *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus plantarum* y *Staphylococcus* sp. (El-Saadony et al., 2021).

En los ecosistemas acuícolas como los Manglares se pueden encontrar diversidad de microorganismos con potencial biorremediador para el sector acuícola como *Candidatus*, *Nitrososphaera*, *Geobacter*; *Spirochaeta*, *Maricaulis*, *Paracoccus*, *Brevundimonas*, *Paucimonas*, *Deferribacter*, *Pandoraea* y *Ammoniphilus*, la mayoría de estos grupos son difíciles de cultivar en gran biomasa, a diferencia de especies de *Bacillus*, *Lactobacillus* que en condiciones controladas se puede cultivar (Noriega, 2023).

Las especies de *Bacillus* son bacterias Gram positivas, formadoras de esporas resistentes a las condiciones ambientales adversas, se les puede encontrar en ambientes marinos como en agua dulce, aguas termales, suelos árticos y en el tracto digestivo de peces, moluscos y crustáceos. En la industria acuícola el uso de *Bacillus* spp. ha ganado popularidad debido a los beneficios para los cultivos de especies hidrobiológicas (Soltani et al., 2019).

La mayoría de *Bacillus* spp. tienen la capacidad de biorremediar eficientemente compuestos metabólicos del agua como del sedimento, mejorando directamente los parámetros de producción acuícola y reduce los niveles de estrés de los

organismos acuáticos, lo que conlleva, a mejorar el crecimiento y aumentar la supervivencia (Kamilya y Devi, 2022; Soltani et al., 2019).

Para alcanzar biomásas altas y constantes en la producción de microorganismos eficientes con el fin de biorremediar compuestos orgánicos en los suelos de estanques de cultivo de *P. vannamei*, se realiza la bioestimulación con nutrientes limitantes (Nitrógeno, fósforo, oxígeno y carbono), esto causa que la biomasa del consorcio de microorganismos aumente rápidamente, produciendo una degradación de materia orgánica eficiente (Torres, 2019).

2.2. ANTECEDENTES

Guzmán et al. (2015), aislaron 93 cepas de bacterias de compostaje de residuos orgánicos fibrosos, de las cuales, 70 bacterias fueron identificadas con características similares a *Bacillus sp.*, siendo 30 las que tuvieron mayor actividad celulítica, y 8 con el mayor halo de hidrólisis.

Gavino (2017), indicó que las cepas bacterianas del género *Bacillus* usadas en el cultivo de *L. vannamei* han tenido buenos resultados en cuanto a la biodegradación de la materia orgánica en el fondo de los estanques de cultivo, obteniendo animales saludables durante el periodo de cultivo.

Arias et al. (2019), mencionaron que por medio de biorreactores con biomásas de microalgas del género *Scenedesmus* lograron biorremediar el 88% de los compuestos orgánicos de los efluentes, por un tiempo de seis días.

Noriega (2023), identificó mediante técnicas moleculares dos especies de *Bacillus* en zonas de canales de mareas circundantes al cultivo de *L. vannamei*, *Bacillus proteolyticus* y *Bacillus cereus*, mediante la técnica de respirometría se determinó que estas bacterias tienen la capacidad de biodegradar la materia orgánica del suelo recolectado en dichas zonas. Tumbaco y Castro (2022), evaluaron la biorremediación de suelo contaminados con aceites y grasas (fuentes de carbono), los tratamientos con las microceldas B y D utilizando bacterias nativas (*Pseudomonas Aeruginosa*, *Vibrio Parahaemolyticus* y *Vibrio Alginolyticus*), tratamiento C con bacterias comerciales y tratamiento A como testigo. Además, fueron bioestimuladas con fuentes de Nitrógeno (Urea) y fosforo (P_2O_5), a excepción del testigo. Después de 30 días de estudio, el tratamiento B fue

significativamente más eficientes en la biorremediación aceites y grasas ($p < 0,05$) con 59,86%, que los tratamientos C, D y A con 18,75%, 51,26% y 0,00 %.

De Oliveira et al. (2023), al evaluar el efecto probiótico comercial BioPlus® PS (*B. subtilis* y *B. licheniformis*) a diferentes concentraciones (150 g ha⁻¹, 300 g ha⁻¹, 1000 g ha⁻¹ y 2000 g ha⁻¹) y un testigo (sin probiótico). Después de 15 días de ver aplicado los probióticos, determinaron que todas las concentraciones disminuyeron los niveles de materia orgánica de 1,5% a diferencia del testigo que se mantuvo en 1,8% de materia orgánica.

Valdes (2013), utilizó un probiótico comercial (Tecnología EM™, Japón) a base de *Rhodopseudomonas palustris*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* y *Saccharomyces cerevisiae*. Se realizaron tres tratamientos a diferentes concentraciones: T1 (Sin probiótico), T2 (4 L/ha) y T3 (10 L/ha). Al final del estudio el T3 obtuvo 1,77±0,45% de materia orgánica, menor ($p < 0,05$) al resto de tratamientos T1 y T2 con 2,64 ±0,84% y 2,01±0,75%, respectivamente.

Ávila (2014), probaron cuatro tratamientos: control sin aditivos, Melaza (20-80%), *Bacillus licheniformis* BCR 4-3 (1×10^6 UFC/L) y Melaza (20-80%) más *Bacillus licheniformis* BCR 4-3 (1×10^6 UFC/L) con el fin de degradar la materia orgánica de la columna de agua del sistema hiperintensivo de *L. vannamei*. Al final del ensayo determinó que no se obtuvo diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos, obteniendo valores de 0,095 ±0,01 mg/L, 0,178 ±0,03 mg/L, 0,178 ±0,05 mg/L y 0,231 ±0,06 mg/L, respectivamente.

Wang et al. (2019), evaluaron el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes (EM) y combinado con técnicas de aireación (TA) de sedimentos contaminados de una producción acuícola. Se probaron siete tratamientos incluyendo un control (Sin EM ni TA), tres tratamientos con EM pero sin TA y las tres restantes con EM y TA. Después de 15 días se determinó que los tratamientos con EM y TA disminuyeron la concentración de materia orgánica de 29,2 g/kg a 17,4 g/kg a diferencia del resto de tratamiento.

Jefri et al. (2020), al evaluar el efecto de dos bacterias probióticas (*Pseudomonas sp.* y *Bacillus sp.*) sobre la materia orgánica en el agua de cultivo de *Penaeus vannamei*. Se utilizaron tres tratamientos: T0 (sin la suplementación probiótica),

T1 (probióticos a 10^6 UFC/ml), T2 (probióticos a 10^7 UFC/mL), T3 (probióticos a 10^8 UFC/mL). Al final del estudio los resultados el T2 obtuvo menor ($p < 0,05$) concentración de materia orgánica con $138,68 \pm 33,06$ mg/L, a diferencia del resto de tratamientos T0, T1 y T3 con $177,33 \pm 21,77$ mg/L; $212,70 \pm 13,17$ mg/L y $170,63 \pm 25,93$ mg/L, respectivamente.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica es una parte del suelo y que mayormente se encuentra en el horizonte “A” o la parte más superficial del suelo. La materia orgánica está conformada tanto por materia viva y muerta o en descomposición, el porcentaje que se encuentra en el horizonte “A” va de 1 a 6 %, cuando supera los 20 % se les conoce como suelos orgánicos (Thompson & Troeh, 2021).

2.3.2. BACTERIAS HETEROTRÓFICAS

Son microorganismos “procariotas filogenéticamente emparentados, distintos de las del dominio *Archaea*” que “requiere carbono orgánico como fuente de carbono” para su crecimiento y reproducción (Madigan et al., 2015, p 1031-1038).

2.3.3. BIORREMEDIACIÓN

Es una tecnología novedosa que consiste en la degradación de compuestos y sustancias contaminantes mediante procesos biológicos o estimulando a microorganismos con nutrientes exógenos con la finalidad de degradar o destruir los contaminantes (Central Institute Of Brackishwater Aquaculture [CIBA], 2015) - Ruiz et al., 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

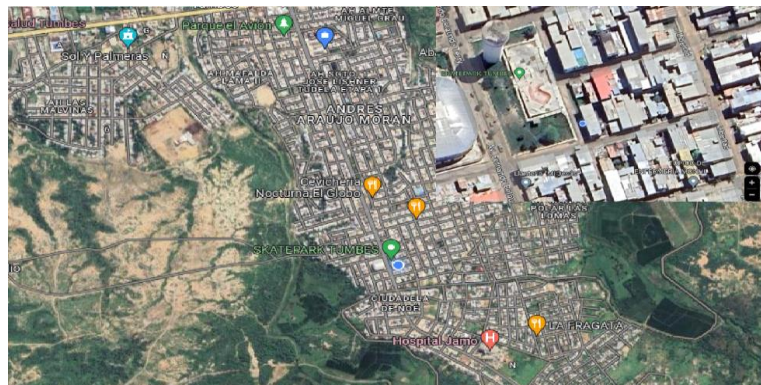
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución del trabajo de investigación se realizó en el centro de producción acuícola “Camaronera Alegría” ubicado en el Puerto Pitahaya Arenillas, El Oro, Ecuador (Figura 1) y los análisis de materia orgánica de muestras de suelo procedentes de las unidades experimentales se realizó en el laboratorio AgroAcuAnálisis S.R.L. ubicado en la ciudad de Tumbes, Mz. T. lote 14. Urb. José Lishner Tudela, segunda etapa, provincia de Tumbes (Figura 2).

Figura 1. Ubicación del centro de producción acuícola “Camaronera Alegría” Puerto Pitahaya-El Oro-Ecuador (Fuente: Google earth, 2024)



Figura 2. Ubicación del Laboratorio AgroAcuAnálisis, Tumbes, Perú. (Fuente: Google earth, 2024)



3.2. TIPOS Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Debido a que consiste en la aplicación de conocimientos básicos referente a dos productos de consorcios bacterianos de origen comercial y como intervienen en la materia orgánica de suelo procedente de un sistema de cultivo semi intensivo de *P. vannamei*. Este conocimiento científico permitió evaluar el efecto de la biorremediación de la materia orgánica en suelo.

Experimental: Porque el estudio se llevó a cabo a través de un experimento a nivel de laboratorio mediante pruebas de celulasa, proteasa e *in vitro* mediante la aplicación directa de los consorcios bacterianos a las unidades experimentales, esto permitió evaluar el efecto de dos consorcios bacterianos de origen comercial producto A y B en la biorremediación de materia orgánica en suelo de cultivo semi intensivo de *P. vannamei*.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. POBLACIÓN

La población en estudio estuvo conformada por 18 kg de suelo procedente del estanque de cultivo semi intensivo de 3,5 hectáreas previamente cosechado, distribuidos en 9 baldes de 5 L de capacidad conteniendo 2 kg de suelo.

3.3.2. MUESTRA Y MUESTREO

Se tomó una muestra aproximadamente de 100 g de suelo por cada unidad experimental. El muestreo fue aleatorio homogeneizando ligeramente el suelo de las unidades experimentales. Posteriormente las muestras fueron preservadas en cadena de frío a 4 °C, para ser transportadas al laboratorio de externo. (Figura 3.)

Figura 3. Muestra de suelos extraído de las unidades experimentales



3.4. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. MATERIAL BIOLÓGICO

Las muestras de suelo fueron obtenidas de un estanque de cultivo semi intensivo de *P. vannamei* de 3,5 ha. Se realizó un muestreo con el método de Zigzag según el procedimiento descrito por Tovar y Erazo (2009), el cual indica que las muestras se deben tomar a una profundidad de 15 a 20 cm (Figura 4), posteriormente se depositaron en un recipiente limpio de 70 L de capacidad, las muestras de suelo recolectadas se homogeneizaron y se traspasaron a las unidades experimentales.

Figura 4. Colecta de muestras de suelo procedentes de un estanque de cultivo semi-intensivo de *Penaeus vannamei* que fueron usados para las unidades experimentales.



Las bacterias probióticas comerciales fueron denotadas por dos códigos internos “A” y “B”. El Biorremediador “A” estuvo conformado por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* y el Biorremediador “B” estuvo conformado por *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus lactis* y *Nitrosomonas* sp.

3.4.2. APLICACIÓN DE BACTERIAS PROBIÓTICAS COMERCIALES

Los consorcios bacterianos se aplicaron a las unidades experimentales a una concentración de 1×10^8 UFC/mL por kilogramo de suelo (Figura 5).

Figura 5. Aplicación de los biorremediadores comerciales A y B en las unidades experimentales



3.4.3. CONDICIONES EXPERIMENTALES

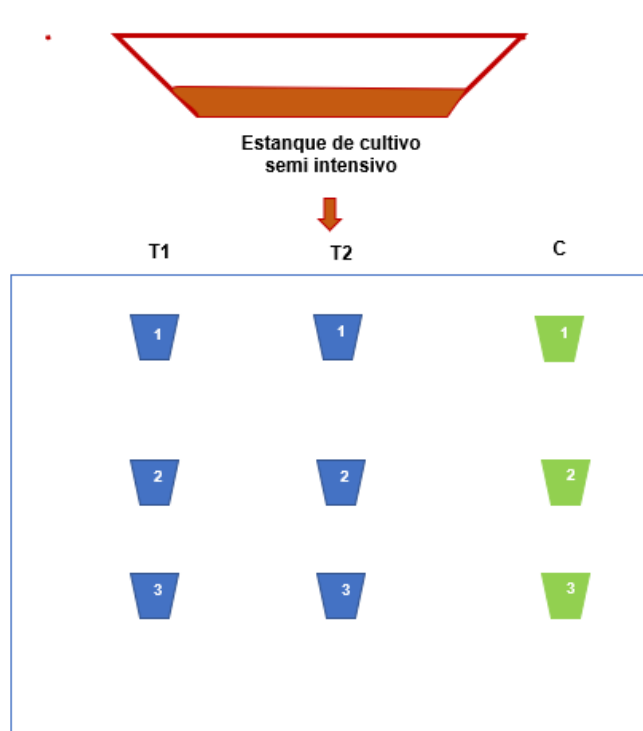
Se utilizaron 9 baldes plásticos de 5 litros de capacidad (Unidades experimentales), conteniendo 2 kg de una mezcla de suelo y agua (lodo) procedente de un estanque de cultivo semi intensivo. A seis unidades experimentales se aplicó las bacterias probióticas de origen comercial a concentración descrito en el ítem 4.2 y a tres no se aplicó bacterias probióticas y permanecieron con el microbiota natural.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de investigación experimental verdadero completamente al azar, el cual estuvo conformado por 3 tratamientos; Tratamiento 1 (Biorremediador A), Tratamiento 2 (Biorremediador B) y un control (Sin Biorremediador). El periodo de estudio fue de siete días. La dosis fue única y se aplicó al inicio del estudio, la dosis estuvo supeditada al producto (ver ítem 4.2) (Figura 6).

Figura 6. Diseño experimental, donde se detallan los tratamientos (T1 y T2) y control (C) con sus respectivas réplicas (1, 2 y 3).



3.5.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

a. Prueba de celulasa y proteasa

Los Biorremediadores comerciales fueron desafiados en medios de cultivo específicos para la producción de enzimas celulasa y proteasa. Para las pruebas de desafío se suspendieron en medios nutritivos caldo tripticasa de soya (TSB) a una proporción 1:10 para cada Biorremediador comercial (A y B). Se pesó 1 g de los Biorremediadores comerciales en frascos tapa rosca con 9 mL de TSB conteniendo una concentración al 1% de cloruro de sodio (Figura 7). Se incubaron por una hora a temperatura ambiente, posteriormente se mantuvieron a 4 °C hasta su desafío.

Figura 7. Biorremediadores comerciales A y B suspendidos en caldo TSB en una proporción 1:10.



Para la prueba de celulasa y proteasa se utilizaron los medios Agar Carboximetilcelulosa (Agar CMC) y Agar Leche, respectivamente. El método utilizado fue el descrito por Cotrina et al. (2020), el cual consistió en realizar perforaciones a los agares con la base hueca de una punta de 200 μ L, con la finalidad de inocular 50 μ L de los cultivos previos de Biorremediadores comerciales (Figura 8). Después de 24 horas de incubación de las placas de

cultivo Agar CMC y leche a temperatura ambiente se midieron los halos de hidrólisis formados por las bacterias probióticas.

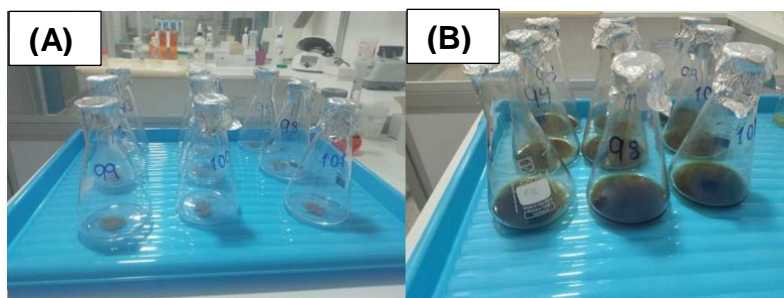
Figura 8. Pruebas de celulasa y proteasa en el laboratorio AgroAcuAnálisis



b. Determinación de materia orgánica

Se tomó inicialmente una muestra de 100 g de suelo recolectado y homogenizado del estanque de cultivo semi intensivo de *P. vannamei* (ver ítem 3.4.1.) y al final del estudio se tomó una muestra por cada unidad experimental. Las muestras se llevaron al laboratorio AgroAcuAnálisis S.R.L. para el análisis de materia orgánica (Figura 9). La técnica utilizada para este ensayo fue la descrita por Nelson & Sommers (1996).

Figura 9. Determinación de materia orgánica por el método descrito por Nelson y Sommers (1996). (A) muestra de suelo molido < 2mm y peso dentro de Matracas y (B) muestra de suelo procesado.



EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Los datos obtenidos de las pruebas de desafío y la concentración de materia orgánica en las unidades experimentales, al final de la investigación fueron evaluados utilizando un Análisis de Varianza (ANVA) para el diseño completamente al azar, utilizando como herramientas una hoja de cálculo del programa computarizado Excel Microsoft Office. Con la finalidad de categorizarlos, se aplicará la prueba de Tuckey, a un nivel de confianza de 95%, utilizando el programa Minitab (Quinn y Keough, 2002).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MUESTRA SUELO

Los valores químicos obtenidos de la muestra de suelo del estanque de cultivo de *P. vannamei* antes de iniciar el estudio (Tabla 1), se encontraron fuera de los rangos recomendados por Boyd (1995), donde el pH debe estar entre 7,5 a 8,5; el nitrógeno debe ser mayor a 75 mg/kg, fósforo disponible mayor a 6 mg/kg, carbono orgánico entre 0,5% a 2%; la relación N:P debe ser de 20:1 y la relación C:N de 10:1. Las elevadas concentraciones de estos compuestos son producidas principalmente por los desechos metabólicos de los langostinos y restos de alimento administrado (De Lacerda et al., 2021).

Si estos compuestos no se tratan a tiempo, pueden transferirse al agua, dando lugar a problemas en el deterioro de la calidad de la misma y de los ecosistemas adyacentes (Ramírez y Almeida, 2020; Tyler, 2021). A su vez, provocan la descomposición anaeróbica del fondo, limitando la producción de especies bentónicas como el langostino *P. vannamei*, de gran importancia económica (Boyd, 2017). Según Rocha et al. (2022), el fósforo y nitrógeno se acumula mayormente en el suelo con mayor concentración de materia orgánica independientemente del sistema de cultivo; por su parte, Lien et al. (2020), infieren que la concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo totales acumulado en el fondo del estanque disminuye en cada ciclo de cultivo un 0,15%, 0,042% y 0,003%, respectivamente.

Tabla 1. Parámetros físico-químicos del suelo al inicio del estudio

Parámetro	Valores iniciales	
	Unidad de medida	Resultado
Color	-	Negro
Humedad	%	29,70
pH	-	7,27
Nitrógeno (N)	mg/kg	1800,00
Fósforo (P)	mg/kg	70,00
Carbono orgánico (CO)	%	6,80
Relación C:N	-	38:1
Relación N:P	-	26:1

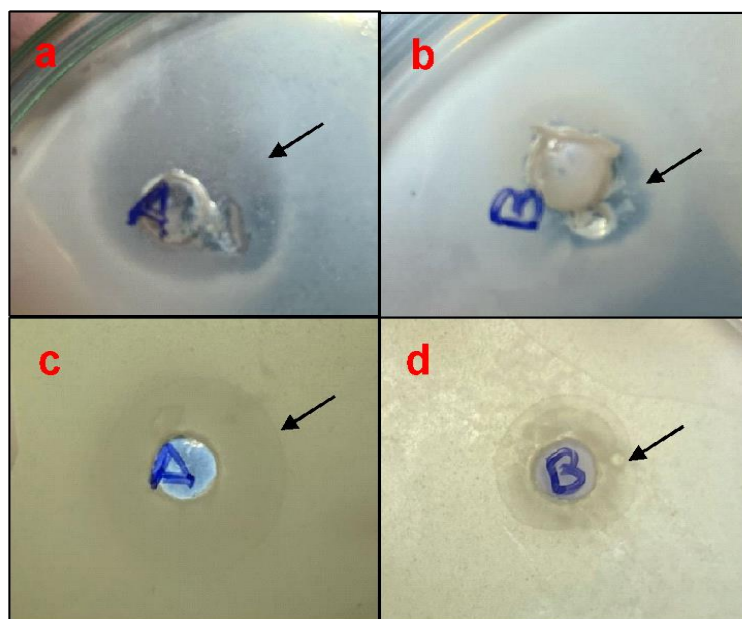
4.2. PRUEBA DE CELULASA Y PROTEASA

El producto comercial A, presento $15,33 \pm 0,58$ mm y $17,00 \pm 1,00$ mm de halo de hidrólisis en la prueba de celulasa y proteasa, respectivamente, mayor ($p < 0,05$) al producto B con $11,67 \pm 1,15$ mm y $14,33 \pm 0,58$ mm de halo de hidrólisis en la prueba de celulasa y proteasa, respectivamente. En la Tabla 1. de los anexos, se presentan los resultados durante el desarrollo de las pruebas de hidrólisis y los cuadros 2 y 3 presentan los datos procesados, datos descriptivos y análisis de varianza, respectivamente.

El tratamiento 1 conformado por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* obtuvieron mayor capacidad de degradación de celulosa y compuestos proteicos (Figura 10), al igual que, Guzmán et al. (2015), al desafiar especies *Bacillus sp* frente a compuestos orgánicos, obtuvieron que varias de estas especies tenían la capacidad de degradar fuentes de carbono y nitrógeno. Por otra parte, las bacterias del género *Bacillus* son capaces de degradar compuestos orgánicos procedentes de la industria acuícola (Gavino, 2017). Noriega (2023), identificó dos especies de bacterias: *Bacillus proteolyticus* y *Bacillus cereus* de los canales

mareales circundantes al cultivo de *L. vannamei*, que presentaron capacidad de biodegradar la materia orgánica.

Figura 10. Halos de hidrólisis: (a y b) prueba de celulasa y (c y d) prueba de proteasa con los Biorremediadores A (A) y Biorremediador B (B). La flecha de color negro indica el halo de hidrólisis.



4.3. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

El porcentaje de materia orgánica promedio al final de estudio para el tratamiento 1 fue de $8,76 \pm 0,30\%$, menor ($p < 0,05$) al tratamiento 2 y control con $9,82 \pm 0,14\%$ y $10,28 \pm 0,09\%$, respectivamente, sin diferencia significativa $p < 0,05$ (Tabla 2).

Tabla 2. Diámetro de halos de hidrólisis obtenidos en la prueba de celulasa y proteasa con los Biorremediadores A y B

Biorremediador	Diámetro de halo de hidrólisis de celulasa (mm)		Diámetro de halo de hidrólisis de proteasa (mm)	
	Promedio	D. E.	Promedio	D. E.
Biorremediador A	15,33 ^a	± 0,58	17,00 ^a	± 1,00
Biorremediador B	11,67 ^b	± 1,15	14,33 ^b	± 0,58

En el cuadro 4 de los anexos, se presentan los resultados durante el desarrollo de la prueba de materia orgánica y los cuadros 5 y 6 presentan los datos procesados, datos descriptivos y análisis de varianza, respectivamente. Tabla 3. Muestra el porcentaje de materia orgánica del suelo para los tratamientos con los Biorremediadores del 0 a 7 días de su aplicación

Tabla 3. Porcentaje de materia orgánica del suelo para los tratamientos (Biorremediador A, Biorremediador B y control) al inicio y después de los siete días de su aplicación.

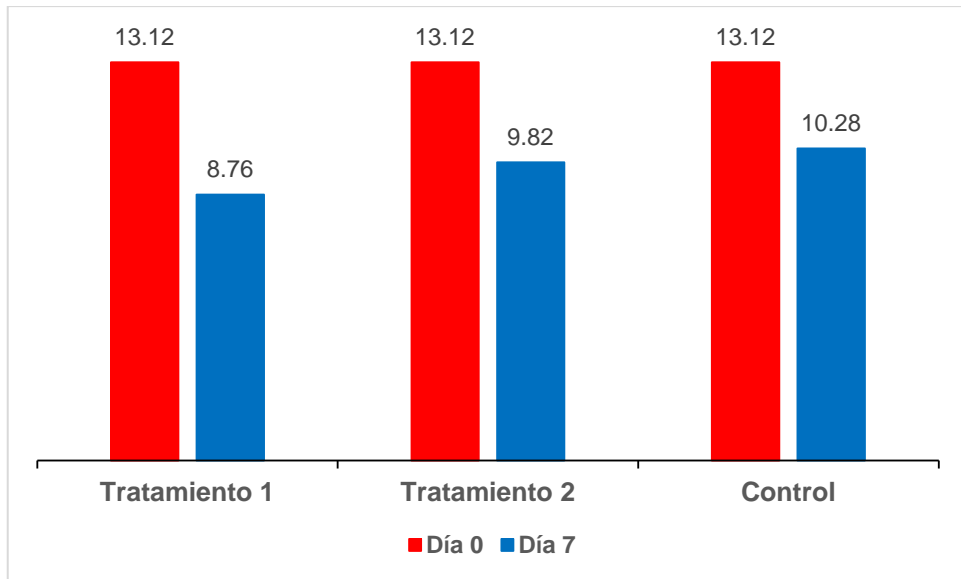
Tratamientos	Materia orgánica (%)			
	Días 0		Día 7	
	Promedio	D.E	Promedio	D.E
Tratamiento 1 (Biorremediador A)	13,12	± 0,13	8,76 ^b	± 0,30
Tratamiento 2 (Biorremediador B)	13,12	± 0,13	9,82 ^a	± 0,14
Control	13,12	± 0,13	10,28 ^a	± 0,09

Aunque los porcentajes de materia orgánica encontrados en el estudio estuvieron en un nivel muy alto, comparados con el rango de 2% a 4% adecuado para el buen manejo de los sistemas de cultivo de *L. vannamei* según Boyd (2017). El tratamiento 1 conformado por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* después de siete días logró reducir la materia orgánica del suelo de 13,12 ± 0,13% a 8,76 ± 0,30% (Figura 11). La biorremediación de la materia orgánica fue similar a los obtenidos por De Oliveira et al. (2023), al utilizar un Biorremediador comercial

BioPlus® PS conformado por *B. subtilis* y *B. licheniformis*, disminuyó los niveles de materia orgánica de 1,8% a 1,5% después de 15 días. Wang et al. (2019), usando microorganismos eficientes (EM) y con técnicas de aireación (TA) disminuyó la concentración de materia orgánica en suelo de 2,92% a 1,74% después de 15 días. Ávila (2014), por su parte, comparó la aplicación *Bacillus licheniformis* BCR 4-3 con y sin mezcla. Al final del estudio no se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tratamientos.

Las bacterias probióticas también pueden biorremediar la carga de materia orgánica en el agua Jefri et al. (2020), al evaluar el efecto de dos bacterias probióticas (*Pseudomonas sp.* y *Bacillus sp.*) sobre la materia orgánica en el agua de cultivo de *L. vannamei*. Después de siete días de cultivo, el tratamiento 2 con una concentración de Biorremediador a 10^7 UFC/mL obtuvo menor ($p < 0,05$) concentración de materia orgánica con $138,68 \pm 33,06$ mg/L, a diferencia del resto de tratamientos. Hlordzi et al. (2020), recomiendan que para aumentar la eficiencia de las especies de *Bacillus* en la biorremediación de compuestos químicos en el agua como en el suelo, se debe, establecer protocolos de manejo de estanques de cultivo en cada ciclo o periodo, comprensión de condiciones requeridas de las especies de *Bacillus* para su producción y masificación en sistemas de cultivo, donde los parámetros de cultivo no están muy bien controlados.

Figura 11. Porcentaje de materia orgánica del suelo por tratamiento al inicio y final del estudio.



V. CONCLUSIONES

1. Con el tratamiento 1 conformado por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* se obtuvo mayor capacidad de degradar fuentes de carbono y nitrógeno, al desafiarlos en las pruebas de celulasa y proteasa.
2. Con el tratamiento 1 conformado por *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* después de siete días logró reducir la materia orgánica del suelo a diferencia del tratamiento 2 conformado por *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus lactis* y *Nitrosomonas* sp.

VI. RECOMENDACIONES

Aplicar el Biorremediador comercial que presenté bacterias del género *Bacillus* en los suelos procedentes de unidades de producción de *Penaeus vannamei* con alta carga de materia orgánica, para esto, se debe aumentando la frecuencia de aplicación cada dos a tres días para que el consorcio bacteriano actué con mejor eficiencia en la reducción de las fuentes de carbono.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arias, D. M., Rueda, E., García-Galán, M. J., Uggetti, E., & García, J. (2019). Selection of cyanobacteria over green algae in a photo-sequencing batch bioreactor fed with wastewater. *Science of the total environment*, 653, 485-495. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.342
- Astudillo, J. S. (2021). *Causas y efectos de condiciones anóxicas en estanques de cultivo de Litopenaeus vannamei*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Acuicultor, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional UTMACH. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16576>
- Ávila, J. (2014). *Cultivo hiperintensivo de camarón blanco (Litopenaeus vannamei), con cero recambio de agua, utilizando Bacillus licheniformis BCR 4-3 y melaza*. [Tesis de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio DSpace. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/31488>
- Boyd, C. E. (1995). *Bottom soils, sediment, and pond aquaculture*. Springer Science & Business Media.
- Boyd, C. E. (2017). General relationship between water quality and aquaculture performance in ponds. En *Fish diseases* (págs. 147-166). Academic Press. doi:0.1016/b978-0-12-804564-0.00006-5
- Cámara Nacional de Acuicultura. (2022). Estadísticas: Camarón – Reporte de Exportaciones Ecuatorianas Totales. <https://www.cna-ecuador.com/estadisticas/>
- CIBA. (2015). *English-Hindi Glossary Fisheries Science and Aquaculture*. https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/10566/1/ilovepdf_merged.pdf
- Cota-Ruiz, K., Nuñez-Gastelúm, J. A., Delgado-Rios, M., & Martinez-Martinez, A. (2019). Biorremediación: Actualidad de conceptos y aplicaciones. *Biotechnia*, 21(1), 37-44. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971082005.pdf>

- Cotrina, D. C., Zegarra, F. N., & Cabrera, R. C. (2020). Crecimiento de colonia y halo de hidrólisis celulolítico de las bacterias termófilas GCB-13 y GCC-13 a diferentes temperaturas. *Ciencias*, 4(4), 45-50. <https://doi.org/10.33326/27066320.2020.4.986>
- De Lacerda, L. D., Ward, R. D., Godoy, M. D., de Andrade Meireles, A. J., Borges, R., & Ferreira, A. C. (2021). 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
- De Oliveira, H. M., Owatari, M. S., & Martins, M. A. (2023). Probiotic BioPlus® PS modulate shrimp-tilapia polyculture pond soil microbiome and exhibit bioremediation potential. *ournal of Applied Aquaculture*, 1-18. doi:10.1080/10454438.2023.2185562
- 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>
- FAO. (2022). *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Jefri, M., Satyantini, W. H., Sahidu, A. M., Nindarwi, D. D., & Rozi, R. (2020). Application of probiotics for organic matter and enhancement of growth performance in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 12(1), 97-104. <https://www.neliti.com/publications/463200/application-of-probiotics-for-organic-matter-and-enhancement-of-growth-performan#cite>
- García, R. (2019). Efecto de la aplicación del probiótico en el crecimiento y supervivencia de *Litopenaeus vannamei* en etapa de precría. Tesis de Maestro en Ciencias con Mención en Gestión Ambiental. Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes. Perú.

<https://repositorio.untumbes.edu.pe/server/api/core/bitstreams/28691a84-8342-4793-9697-035ec6818439/content>

- Gavino, E. T. (2017). *Revisión acerca de la utilización de microorganismos en el mejoramiento de sedimentos en granjas camaroneras*. [Tesis de Ingeniero Acuicultor, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Digital de la UTMACH. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10512>
- Guzmán Cedeño, Á. M., Zambrano Pazmiño, D. E., Rivera Fernández, R. D., Rondón, A. J., Silva, M. L., & Pérez Quintana, M. (2015). Aislamiento y selección de bacterias autóctonas de Manabí-Ecuador con actividad celulolítica. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 7-16. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193237111001>
- Hlordzi, V., Kuebutornye, F. K., 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://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352513420305937>
- Kamilya, D., & Devi, W. M. (2022). Bacillus probiotics and bioremediation: an aquaculture perspective. En *Bacilli in Agrobiotechnology: Plant Stress Tolerance, Bioremediation, and Bioprospecting* (págs. 335-347). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-85465-2_15
- Lien, B. T. B., & Giao, N. T. (2020). Quality of water and sediment in whiteleg shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) pond. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 5(5). <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.55.19>
- Madigan, M. T., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2015). *Biología de los Microorganismos* (Catorceava ed.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Martínez-Córdova, L. R., Robles-Porchas, G. R., Vargas-Albores, F., Porchas-Cornejo, M. A., & Martínez-Porchas, M. (2022). Microbial bioremediation of aquaculture effluents. In *Microbial Biodegradation and Bioremediation*, 409-417. doi:10.1016/B978-0-323-85455-9.00009-6

- Martinez-Porchas, M., Martinez-Cordova, L. R., Lopez-Elias, J. A., & Porchas-Cornejo, M. A. (2014). Bioremediation of aquaculture effluents. En *Microbial biodegradation and bioremediation* (págs. 539-553). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-800021-2.00024-8
- Ministerio de la Producción. (2023). Tableros BI sobre Estadísticas del Sector Producción: Tablero BI Acuicultura. Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos (OGEIEE). <https://www.gob.pe/institucion/produce/informes-publicaciones/1937764-tablero-bi-acuicultura>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Chapter 34. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Walkley-Black Method. En *Methods of soil analysis, part 3: Chemical methods* (págs. 961-1010). John Wiley & Sons.
- Noriega, W. (2023). *Caracterización molecular de bacterias con capacidad biorremediadora, aislados de canales de marea adenaños a zonas de cultivo de langostino de Tumbes*. [Tesis de maestría en Acuicultura y Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio UNTUMBES. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/64006/TESIS%20-%20NORIEGA%20ALCANTARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge: Cambridge university press.
- Ramírez, F. A., & Almeida, R. J. (2020). *Enzimas digestivas para el mejoramiento de la asimilación de nutrientes: Guía para el uso en camarones de cultivo*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Acuicultor, Escuela Superior Politecnica del Litoral]. Repositorio Institucional de la ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51578/1/T-76770%20Ram%C3%ADrez-Almeida.pdf>
- Rocha, J. L., da Silveira Pereira, A. C., Correia, A. M., Giumbelli, L. D., Brunetto, G., Loss, A., & Arana, L. A. V. (2022). A new strategy to study pond soil chemistry in intensive and extensive cultures of *Litopenaeus vannamei*: A

case study in Brazil. *Aquaculture*, 549, 737785.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004484862101448>

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. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(3), 331-379. doi:10.1080/23308249.2019.1597010

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Editorial Reverté S.A.

Torres, W. C. (2019). *Biorremediación del agua recirculante en el cultivo intensivo del camarón blanco, utilizando microbiota autóctono del ecosistema del mangle rojo*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10867>

Torres, W., Tinoco, O., Huamantínco, A., Mialhe, E., & Conde, L. (2018). Biorremediación del agua recirculante en cultivo de camarón blanco utilizando microbiota autóctona del mangle rojo. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 21(42), 55-62.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/15787/13523/54281>

Tovar, S. A. O. & Erazo, E. C. (2009). Análisis de las características físico químicas de aguas y suelos de cultivos acuícolas intensivos y super-intensivos. CENIACUA (Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia) & Colciencias. <https://www.ceniagua.org/assets/PDFS/Manual%20fisicoquimicos%20Agua%20y%20Suelos.pdf>

Tumbaco, K., & Castro, G. (2022). *Biorremediación del Lecho del Manglar de Puerto Hualtaco, utilizando bacterias nativas*. [Tesis de Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/reduq/57463>

- Tyler, I. (2021). *Whiteleg shrimp, giant tiger prawn. Litopenaeus vannamei, Penaeus monodon*. India: Monterey Bay Aquarium. Seafood Watch. [https://www.seafoodwatch.org/globalassets/sfw-data-blocks/reports/S/MBA SeafoodWatch FarmedShrimp India R](https://www.seafoodwatch.org/globalassets/sfw-data-blocks/reports/S/MBA_SeafoodWatch_FarmedShrimp_India_R)
- Valdes, C. E., Macías, E. B., Álvarez-González, C. A., Hernández, C. T., & 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. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v61n3/a18v61n3.pdf>
- Wang, L., Shao, X., Xu, M., & Chen, S. (2019). Bioremediation of nitrogen- and phosphorus-polluted aquaculture sediment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(6), 192-201. doi:10.25165/j.ijabe.20191206.4904

ANEXO

Anexo 1. Diámetro de halos de hidrolisis de las pruebas de celulasa y proteasa con los Bioremediadores A y B

Bioremediadores	Réplicas	Celulasa	Proteasa
		Diámetro del halo de hidrolisis (mm)	Diámetro del halo de hidrolisis (mm)
Biorremediador A	1	16,00	16,00
	2	15,00	18,00
	3	15,00	17,00
	Promedio	15,33	17,00
	D.E	0,58	1,00
Biorremediador B	1	13,00	14,00
	2	11,00	15,00
	3	11,00	14,00
	Promedio	11,67	14,33
	D.E	1,15	0,58

Anexo 2. Datos descriptivos de los halos de hidrolisis de las pruebas de celulasa

Prueba	Tratamientos	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
Celulasa	Biorremediador A	3	15,33	0,577	0,33	13,87	16,80
	Biorremediador B	3	11,67	1,15	1,33	10,20	13,13
Proteasa	Biorremediador A	3	17,00	1,00	1,00	15,69	18,31
	Biorremediador B	3	14,33	0,577	0,33	13,03	15,64

y proteasa utilizando los Bioremediadores A y B.

Anexo 3. Análisis de varianza de los halos de hidrolisis de las pruebas de celulasa y proteasa utilizando los Bioremediadores A y B.

Prueba	Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F _{crítico}	Significación
Celulasa	Entre grupos	20,17	1	20,17	24,20	p = 0,008
	Dentro de grupos	3,33	4	0,83		p < 0,05
	Total	23,50	5			
Proteasa	Entre grupos	10,67	1	10,67	16	p = 0,016
	Dentro de grupos	2,67	4	0,67		p < 0,05
	Total	13,33	5			

Anexo 4. Porcentaje de materia orgánica del suelo de la unidad de producción de *Litopenaeus vannamei* con los tratamientos (1 y 2) y control.

Tratamientos	Replicas	Materia orgánica (%)	
		Día 0	Día 7
Tratamiento 1 (Biorremediador A)	1	13.25	8.60
	2	13.10	9.11
	3	13.00	8.58
	Promedio	13.12	8.76
	D.E	0.13	0.30
Tratamiento 2 (Biorremediador B)	1	13.25	9.94
	2	13.10	9.86
	3	13.00	9.66
	Promedio	13.12	9.82
	D.E	0.13	0.14
Control	1	13.25	10.26
	2	13.10	10.38
	3	13.00	10.20
	Promedio	13.12	10.28
	D.E	0.13	0.09

Anexo 5. Datos descriptivos del porcentaje de materia orgánica del suelo de la unidad de producción de *Litopenaeus vannamei* con los tratamientos (1 y 2) y

Prueba	Tratamientos	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media	
						Límite inferior	Límite superior
Materia orgánica	Tratamiento 1 (Biorremediador A)	3	8,76	0,30	0,01	8,48	9,05
	Tratamiento 2 (Biorremediador B)	3	9,82	0,14	0,09	9,54	10,10
	Control	3	10,28	0,09	0,02	10,0	10,56

control.

Anexo 6. Análisis de varianza del porcentaje de materia orgánica del suelo de la unidad de producción de *Litopenaeus vannamei* con los tratamientos (1 y 2) y

Prueba	Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F _{crítico}	Significación
Materia orgánica	Entre grupos	3,62	1	1,81	45,57	p = 0,0002
	Dentro de grupos	0,24	4	0,04		p < 0,05
	Total	3,87	5			

control.