

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y CIENCIAS DEL
MAR

ESCUELA DE INGENIERÍA PESQUERA ACUÍCOLA



**Efecto del EDTA y consorcios bacterianos en la reducción de la
concentración de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus
vannamei***

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera Pesquera Acuícola

Autora

Br: Stefanny Mishelle Ortega Herrera

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y CIENCIAS DEL
MAR

ESCUELA DE INGENIERÍA PESQUERA ACUÍCOLA



**Efecto del EDTA y consorcios bacterianos en la reducción de la
concentración de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus
vannamei***

TESIS aprobada en forma y estilo por:

Dr. Auberto Hidalgo Mogollón (presidente)

Dr. Oscar Augusto Mendoza Neyra (secretario)

Mg. Ronald García Camizan (vocal)

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y CIENCIAS DEL
MAR

ESCUELA DE INGENIERÍA PESQUERA ACUÍCOLA



**Efecto del EDTA y consorcios bacterianos en la reducción de la
concentración de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus
vannamei***

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

Br. Ortega Herrera Stefanny Mishelle

(Autora)

Mg. García Camizan Ronald
ORCID: 0000-0002-2717-2860
(Asesor)

Ing. Serna Cruz José Alberto
ORCID: 0000-0002-8508-0518
(Co-asesor)

Tumbes, 2025



**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 doce del mes de mayo del dos mil veintiséis, siendo las once horas, en el aula A-5 de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar de la UNTUMBES, se reunió el Jurado Calificador, designado con Resolución N° 019-2024/UNTUMBES-FIPCM-D, Dr. AUBERTO HIDALGO MOGOLLÓN (Presidente), Dr. OSCAR AUGUSTO MENDOZA NEYRA (Secretario) y Mg. RONALD GARCÍA CAMIZAN (Vocal – asesor, CODIGO ORCID N° 0000-0002-2717-2860) y al Ing. JOSÉ ALBERTO SERNA CRUZ (CODIGO ORCID N° 0000-0002-8508-0518) como Co asesor, luego de la presentación, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: "Efecto del EDTA y consorcios bacterianos en la reducción de la concentración de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus vannamei*", para optar el Título Profesional de INGENIERA PESQUERA ACUÍCOLA, presentado por la:

Br. STEFANNY MISHELLE ORTEGA HERRERA.

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

STEFANNY MISHELLE ORTEGA HERRERA APROBADA, con calificativo: BUENO

Se hace conocer la sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el Jurado le indica.

En consecuencia, queda APTA para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniera Pesquera Acuícola, 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 11 horas y 57 minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta de sustentación.

Puerto Pizarro, 12 de mayo 2026

Dr. AUBERTO HIDALGO MOGOLLÓN
CODIGO ORCID N° 0000- 0003-2921-4523
DNI. N°00250460
Presidente

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

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

- C.C.:
- Jurado (03) - Asesor Mg. RONALD GARCÍA C. Co asesor Ing. JOSÉ SERNA C.
 - Interesado - Archivo Decanato.

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

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Yo, STEFANNY MISHELLE ORTEGA HERRERA, declaro que los resultados reportados en este informe de tesis son de mi exclusiva autoría. Asimismo, 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 las 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 las ideas.



Br. Stefanny Mishelle Ortega Herrera
Tesisista

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por darme la vida y ser mi fortaleza en todo momento, luego a mis adorados padres Christian Ortega y Marisol Herrera por su motivación y hacer realidad mis sueños, por no dejarme sola en este camino largo, por ser el motor de mi vida. Gracias por creer en mí y por enseñarme que, con esfuerzo y fe, todo es posible. Esta meta también es de ustedes los amo tanto.

AGRADECIMIENTO

A Dios, con infinita gratitud, por regalarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para alcanzar esta meta.

A mis adorados padres, mi mayor inspiración, gracias por su amor, sacrificios y apoyo incondicional. Sus palabras de aliento y su fe en mí hicieron posible que hoy llegue hasta aquí. Esta meta es el reflejo de todo lo que me han dado.

De igual manera A mis asesores de tesis, Mg. Ronald García Camizán e Ing. José Alberto Serna Cruz, por su paciencia y compromiso durante este proceso, por guiarme y brindado el apoyo para mi desarrollo académico y profesional.

A los señores miembros del jurado, porque todos y cada uno de ellos dedicaron su tiempo, contribuyendo con sus aportes al enriquecimiento de esta investigación dándome sugerencias que me ayudaron a plasmar todos mis objetivos y metas.

Stefanny Mishelle Ortega Herrera

primera revisión de tesis 07.08.25

 Efecto del EDTA y consorcios bacterianos en la reducción de la concentración de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus vannamei*

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::3117-479484284

Fecha de entrega

7 ago 2025, 19:49 GMT-5

Fecha de descarga

7 ago 2025, 19:52 GMT-5

Nombre de archivo

primera revisión de tesis 07.08.25.docx

Tamaño de archivo

7.7 MB

44 Páginas

7332 Palabras

42.815 Caracteres



Mg. García Camizan Ronald
ASESOR
ORCID: 0000-0002-2717-2860

7% 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

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión



Mg. García Camizan Ronald
ASESOR
ORCID: 0000-0002-2717-2860

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.

Fuentes principales

- 7% 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	2%
2	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
3	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2019-04-16	<1%
4	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2018-08-21	<1%
5	Internet	www.mdpi.com	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2018-08-17	<1%
7	Internet	link.springer.com	<1%
8	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
9	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
10	Internet	1library.co	<1%
11	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%

12	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2018-08-01	<1%
14	Internet	agris.fao.org	<1%
15	Internet	repositorio.unapiquitos.edu.pe	<1%
16	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	<1%

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCIÓN	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA	18
2.1. Bases teóricas científicas	18
2.1.1. Contaminación de hierro en suelo acuícola	18
2.1.2. Compuestos químicos como reductores de hierro	19
2.1.3. Biorremediación del hierro con consorcios bacterianos	19
2.2. Antecedentes.....	20
2.2.1. Biorremediación de hierro con consorcios bacterianos	20
2.2.2. Compuestos químicos como reductores de hierro	22
III. METODOLOGÍA	25
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	25
3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	25
3.2.1. Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis	25
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	26
3.3.1. Población	26
3.3.2. Muestra y muestreo	26
3.4. MÉTODO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	26
3.4.1. Material biológico	26
3.4.2. Aditivo químico.....	27
3.4.3. Aplicación del EDTA y consorcio bacteriano.....	28
3.4.4. Determinación del porcentaje de remoción del Hierro.....	28
3.4.5. Condiciones experimentales	29
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	29

3.5.1. Diseño de investigación	29
3.5.2. Recolección de datos.....	30
3.5.3. Evaluación estadística	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Parámetros fisicoquímicos de suelos de cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i>	31
4.2. Remoción de concentración de hierro (Fe) en suelos de cultivo de <i>Litopenaeus vannamei</i>	32
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del lugar donde se desarrolló la investigación	2
5	
Figura 2. Tratamiento 2 (Consortio bacteriano)	2
7	
Figura 3. Tratamiento 1 (EDTA)	2
7	
Figura 4. Adición de consorcio bacteriano a cada unidad experimental	2
8	
Figura 5. Adición de EDTA a cada unidad experimental	2
8	
Figura 6. Unidades experimentales	2
8	
Figura 8. Porcentaje de remoción de hierro (Fe) en el suelo según tratamiento.	29

ÍNDICE DE TABLA

Cuadro 1. Promedios de los parámetros de calidad de suelo por tratamiento y control al inicio y final del estudio	42
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Secado de suelo del estanque del cultivo de <i>litopenaeus vannamei</i> ...	41
Anexo 2. Trituración de tabletas para lector de photometro.....	41
Anexo 3. Datos descriptivos de los parámetros del suelo pH, ORP y Fe disponible por tratamientos y control.....	42
Anexo 4. Análisis de varianza de los parámetros Ph, ORP y Fe disponible por cada tratamiento y control	43
Anexo 5. Datos de parámetros de suelo obtenidos al inicio del estudio.....	44
Anexo 6. Datos de parámetros de suelo obtenidos al final del estudio	44

Efecto del EDTA y consorcios bacterianos en la reducción de la concentración de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus vannamei*

Stefanny Mishelle Ortega Herrera¹

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la eficiencia de dos productos comerciales para la remoción de hierro en suelos de cultivo de *Litopenaeus vannamei*, utilizando EDTA (Tratamiento 1 – 100mg/L) y consorcios bacterianos de *Bacillus Licheniformes*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus Pumilus* y *Bacillus amyloliquefaciens* (Tratamiento 2 – $2,55 \times 10^8$ UFC/mL), más un tratamiento control con agua destilada. El estudio se llevó a cabo durante 7 días en el Laboratorio AGROACUANÁLISIS S.R.L. en Tumbes, Perú, mediante técnicas experimentales de laboratorio. Se realizó un muestreo aleatorio en un estanque de tierra de cultivo semi-intensivo de *Litopenaeus vannamei*, utilizando el método zigzag se tomó una muestra de un kilogramo de suelo, las cuales se subdividieron en aproximadamente 10 g, homogenizadas y secadas a 105 °C durante 24 horas. Se analizó la concentración de hierro disponible en el suelo al inicio y al final del experimento. Los datos fueron analizados utilizando Análisis de Varianza (ANVA) y la prueba de Tuckey. Los resultados indicaron al inicio de $86,67 \pm 4,16$ de Fe (mg/kg) en el suelo y después de aplicar los tratamientos se encontró una reducción significativa de concentración de hierro en comparación con el control. El consorcio bacteriano logró una remoción del 51,54%, superando al EDTA-Na₄, que alcanzó el 43,85% y el control mostró la menor eficacia, con una remoción de solo el 19,62%.

Palabras clave: Hierro; EDTA., Consorcios bacterianos., Suelos.

¹Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Pesquera Acuícola de la Universidad Nacional de Tumbes
Informe final de Tesis
Universidad Nacional de Tumbes
Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Pesquera Acuícola
Calle Los Ceibos S/N Puerto Pizarro, Tumbes, Perú
2025

Effect of EDTA and bacterial consortia on the reduction of iron concentration in soils used for *Litopenaeus vannamei* cultivation

Stefanny Mishelle Ortega Herrera¹

ABSTRACT

This research evaluated the efficiency of two commercial products for iron removal in *Litopenaeus vannamei* culture soils, using EDTA (Treatment 1 – 100 mg/L) and bacterial consortia of *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, and *Bacillus amyloliquefaciens* (Treatment 2 – 2.55×10^8 CFU/mL), along with a control using distilled water. The study was conducted over 7 days at the AGROACUANÁLISIS S.R.L. Laboratory in Tumbes, Peru, using experimental laboratory techniques. A random sampling was performed in a semi-intensive *Litopenaeus vannamei* earthen pond, using the zigzag method to collect a one-kilogram soil sample. These samples were subdivided into approximately 10 g portions, homogenized, and dried at 105 °C for 24 hours. The available iron concentration in the soil was analyzed at the beginning and end of the experiment. Data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA) and Tukey's test. The initial results indicated an iron concentration of 86.67 ± 4.16 mg/kg in the soil. After applying the treatments, a significant reduction in iron concentration was observed compared to the control. The bacterial consortium achieved a removal rate of 51.54%, surpassing EDTA- Na_4 , which reached 43.85%, while the control showed the lowest efficacy, with a removal rate of only 19.62%.

Keywords: Iron; EDTA., Bacterial consortia., Soils.

¹Students of the School of Fisheries Engineering of the National University of Tumbes
Report
National University of Tumbes
Faculty of Fisheries Engineering and Marine Sciences
Vocational School of Fisheries Engineering
Street the Ceibos S/N Puerto Pizarro, Tumbes, Perú
2024

I. INTRODUCCIÓN

El éxito del cultivo de *Litopenaeus vannamei* depende en gran medida de las buenas prácticas de manejo, especialmente del monitoreo constante de la calidad del agua y suelo. Sin embargo, debido a la intensificación de los sistemas de cultivo, la calidad del suelo se ve principalmente afectada en cada ciclo de cultivo por la acumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos, tanto propios del medio como externos. Por otra parte, el uso excesivo de compuestos químicos como antibióticos y fertilizantes puede alterar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual puede generar problemas durante el período de cultivo.

La interfaz entre el suelo y agua facilitan que estos compuestos químicos afecten la calidad del agua, comprometiendo la salud de los organismos que la habitan en estos ecosistemas. Esto puede resultar en problemas relacionados con la alimentación, crecimiento, supervivencia y mayor susceptibilidad a enfermedades endémicas (Astudillo, 2021).

Las altas concentraciones de hierro han provocado la formación de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en los suelos de los estanques de cultivo de *L. vannamei*, dando lugar a una coloración rojiza ocre. Esta coloración puede adherirse a los langostinos durante el llenado del estanque, afectando la calidad del producto final. Se observan apéndices corporales rojizos, exoesqueletos manchados y branquias deterioradas, lo cual resulta en pérdidas significativas para los productores (Carvajal, 2021).

Para el tratamiento y control de suelos rojizos, existen técnicas que utilizan productos químicos y biológicos. Las técnicas químicas abarcan una amplia variedad de productos, como fijadores, fertilizantes y lixiviantes, utilizados tanto para controlar como para descontaminar el suelo. Se busca constantemente la incorporación de aditivos efectivos para mejorar la eficacia de la descontaminación, especialmente en situaciones posteriores a un accidente industrial o natural.

Es crucial considerar las restricciones en la cantidad y extensión de los productos utilizados, ya que algunos pueden tener efectos negativos en el medio ambiente (Jiménez, 2017).

Los métodos fisicoquímicos de recuperación de suelos contaminados con metales pesados, como el hierro, se centran en modificar materiales peligrosos para convertirlos en no tóxicos y, si es posible, recuperar recursos valiosos. Aunque estos métodos permiten la conservación y el reciclaje de recursos, también implican el tratamiento de los residuos generados, lo que aumenta los costos y la complejidad del proceso (Vega-Jara, 2021).

La biorremediación se refiere a un método que reduce, elimina o inmoviliza contaminantes perjudiciales en el suelo utilizando agentes biológicos. Diversos organismos vivos han demostrado su capacidad para remediar suelos contaminados con metales pesados. La biorremediación microbiana es una técnica que aprovecha sus enzimas producidas por microorganismos para neutralizar contaminantes en el suelo y otros entornos, transformándolos en formas menos peligrosas (Montenegro et al., 2021; Gamboa, 2020).

Esta investigación abordó un tema crucial sobre la calidad del suelo en el cultivo de *Litopenaeus vannamei*. El EDTA-Na₄ es un agente quelante ampliamente utilizado para reducir la concentración de metales pesados en el suelo, mientras que los consorcios bacterianos podrían desempeñar un papel importante en la biodegradación de compuestos químicos. Estudiar el efecto de estos dos productos comerciales en la reducción de la concentración de hierro en los suelos puede tener repercusiones significativas favorables en la salud de los animales, el rendimiento de los cultivos y la sostenibilidad ambiental.

Al finalizar el estudio, se seleccionó el producto que mejor remueva el hierro de los suelos utilizados en el cultivo de *L. vannamei* que no ocasiona problemas tanto al sistema de cultivo como al medio ambiente.

El objetivo principal de esta investigación fue comparar el efecto del EDTA-Na₄ y el consorcio bacteriano en la reducción de la concentración de hierro en los suelos de cultivo de *L. vannamei*, lo que permitió seleccionar el mejor tratamiento para los

suelos con coloración rojiza ocre causado por el hidróxido férrico, situación que perjudica a los productores de langostinos ocasionando pérdidas económicas considerables.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

2.1.1. Contaminación de hierro en suelo acuícola

Los suelos con coloración rojiza en las unidades de producción acuícola se deben a la presencia de hidróxido férrico. Si no se trata a tiempo, este compuesto puede lixiviar en el agua y producir óxidos de hierro, lo que puede provocar diversos problemas como malformaciones, deterioro de branquias, pigmentación anormal, acumulación de altas concentraciones de hierro en el músculo y toxicidad (Carvajal, 2021).

La acumulación de oxihidróxido de hierro (goetita y ferrihidrita) en los estanques de cultivo de langostinos es más pronunciada durante las temporadas de lluvias que en las estaciones secas. Esta acumulación también afecta a los ambientes naturales adyacentes a los centros de producción (Nóbrega et al., 2013).

Por otra parte, en el cultivo de camarón *Penaeus monodon* los oligoelementos como: hierro (Fe), zinc (Zn), aluminio (Al), plomo (Pb), Monóxido de carbono (Co), vanadio(V), cromo (Cr), titanio (Ti), arsénico (As), plata (Ag) y antimonio (Sb), fueron mayores en los suelos de estanques nuevos que en los estanques antiguos. Esto compuestos químicos pueden afectar la calidad del agua en los estanques de cultivo y por ende la supervivencia y el crecimiento de los camarones (Mustafa et al. 2018).

Los suelos de los sistemas de cultivo de camarón *Penaeus monodon* son comúnmente afectados por sulfato ácido. Al evaluar el efecto en la calidad del agua y el rendimiento del camarón en diferentes tipos de suelos. Los suelos con sulfato ácido mostraron una significativa reducción en la supervivencia y la producción de camarón en comparación con suelos neutros. Se observó una acumulación elevada de hierro y manganeso en tejidos de camarón cultivado en condiciones de sulfato

ácido, afectando negativamente las funciones branquiales y otros tejidos (Jayasinghe, 1991).

Frías-Espéricueta et al. (2011), indican que la concentración de metales pesados en el suelo de los estanques de cultivo de langostinos puede transferir estos compuestos a los organismos. Aunque no sean letales, pueden causar daños a nivel histológico y genético.

2.1.2. Compuestos químicos como reductores de hierro

Las técnicas químicas abarcan una amplia variedad de productos, como fijativos, fertilizantes y lixiviantes, utilizados tanto para controlar como para descontaminar el suelo, se busca constantemente la incorporación de aditivos efectivos para mejorar la eficacia de la descontaminación, especialmente en situaciones posteriores a un accidente industrial o natural, siendo crucial considerar las restricciones en la cantidad y extensión de los productos utilizados, ya que algunos pueden tener efectos negativos en el medio ambiente (Jiménez, 2017).

Los métodos fisicoquímicos de recuperación de suelos contaminados con metales pesados como el hierro se centran en modificar materiales peligrosos para convertirlos en no tóxicos y, si es posible, recuperar recursos valiosos. Aunque estos métodos permiten la conservación y el reciclaje de recursos, también implican el tratamiento de los residuos generados, lo que aumenta los costos y la complejidad del proceso (Vega-Jara, 2021).

En tal sentido, existen varias técnicas de tratamiento químico para suelos contaminados, como la oxidación química, la extracción de vapores y el lavado de suelos, que se caracterizan por su rapidez de ejecución, accesibilidad y bajo consumo energético. Sin embargo, es crucial controlar la movilidad de los contaminantes para evitar una mayor dispersión en el entorno y tratar adecuadamente los residuos generados por estas técnicas (Gamarra, 2019).

2.1.3. Biorremediación del hierro con consorcios bacterianos

La biorremediación se refiere a un método para reducir, eliminar o inmovilizar contaminantes perjudiciales en el suelo utilizando agentes biológicos. Diversos

organismos vivos han demostrado capacidad para remediar suelos contaminados con metales pesados. La biorremediación microbiana es una técnica que aprovecha microorganismos o sus enzimas para neutralizar contaminantes en el suelo y otros entornos, los transforma en formas menos peligrosas (Montenegro et al., 2021; Gamboa, 2020).

Este método, combinado con otras estrategias biológicas, se fundamenta en la habilidad inherente de los microorganismos y las plantas para degradar o eliminar compuestos orgánicos dañinos, convirtiéndolos en productos metabólicos menos nocivos. Al evitar el uso de productos químicos y ser más económica que otras alternativas, la biorremediación ha sido ampliamente adoptada y aplicada con éxito en varios países (Buendía, 2012).

También se conoce como remediación biológica, esta técnica implica la limpieza mediante procesos biológicos, aprovechando la capacidad de los microorganismos para inmovilizar o movilizar contaminantes (Asunción & Rondo, 2021). Comúnmente se emplean bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* mediante consorcios bacterianos. A través de la biodegradación, estas bacterias eliminan metales pesados presentes en el suelo como el hierro (Ottw & Glathe, 1971; Elguera, 2020).

2.2. ANTECEDENTES

2.2.1. Biorremediación de hierro con consorcios bacterianos

Atuchin *et al.* (2023), elaboraron un consorcio microbiano utilizando microorganismos como *Pantoea sp.*, *Achromobacter denitrificans*, *Klebsiella oxytoca*, *Rhizobium radiobacter* y *Pseudomonas fluorescens*, con el objetivo de evaluar su capacidad para eliminar metales pesados, siendo el consorcio más efectivo, denominado consorcio (D), estuvo compuesto por *Achromobacter denitrificans*, *Klebsiella oxytoca* y *Rhizobium radiobacter* en una relación de 1:1:2, este consorcio demostró una alta capacidad para absorber metales pesados, teniendo como resultados para Cd (56,39 mg/L), Hg (58,03 mg/L), As (61,17 mg/L),

Pb (91,13 mg/L) y Ni (98,22 mg/L). Además, se confirmó su eficacia en condiciones de contaminación mixta por metales pesados.

Allam (2017), evaluó la eficacia de un consorcio bacteriano compuesto por *Sphingomonas paucimobilis*, *Rhizobium radiobacter* y *Bacillus subtilis*, respecto a los resultados obtuvo que *S. paucimobilis* logró eliminar el 60% de Cu, 63% de Fe, 54% de Pb, 57% de Cd y 53% de Cr, mientras que *R. radiobacter* alcanzó el 49% de Cu, 51% de Fe, 45% de Pb, 40% de Cd y 50% de Cr. Por otro lado, *Bacillus subtilis* eliminó el 51% de Cu, 36% de Fe, 41% de Pb, 34% de Cd y 37% de Cr.

Basha & Rajaganesh (2014), evaluaron el efecto de remoción de metales pesados usando un consorcio bacteriano (*Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Bacillus licheniformis* y *Pseudomonas*) siendo eficaz en la remoción teniendo como resultado 98,34% cadmio, 94,83% plomo y 96,14% de zinc.

Fulekar et al. (2012), evaluaron un consorcio bacteriano compuesto por *Bacillus* sp., *Streptococci* sp., *Salmonella* sp., *E. coli* sp., *Pseudomonas* sp. y *Micrococcus*, en la remoción de metales pesados, como Fe, Cu y Cd, en concentraciones de 25, 50 y 100 µg/ml durante un periodo de 21 días. Los resultados mostraron que el consorcio bacteriano fue altamente efectivo en la remediación de Cd, Cu y Fe, alcanzando tasas de remoción de hasta 98,5%; 99,6% y 100%, respectivamente.

Panwichian et al. (2011), evaluaron la capacidad de dos cepas de bacterias púrpuras sin azufre (PNSB), *Rhodobium marinum* NW16 y *Rhodobacter sphaeroides* KMS24 en remover metales pesados del agua contaminada en estanques de camarones. Los niveles de metales pesados en los estanques de cultivo en condiciones semi controladas fueron de 0,0067mM; 0,54 mM; 0,30 mM; 0,89 mM y 3% para Cd, Cu, Pb, Zn y NaCl, respectivamente. Al final del estudio la cepa NW16 y KMS24 mostraron una eficacia superior en la eliminación de metales pesados con porcentaje promedio de 90,52% y 97,29%, respectivamente.

Do et al. (2021), al evaluar el efecto de bacterias endofíticas (*Bacillus velezensis* MT50 y *Bacillus amyloliquefaciens* MT51) en la remediación de aguas residuales de centros de producción de langostinos en humedales de tratamiento flotantes (FTW) con vegetación pasto (*Brachiaria mutica*). En tal sentido, se realizaron cuatro tratamientos: sólo aguas residuales (T1), aguas residuales más *B. mutica* (T2),

aguas residuales más *B. mutica* y bacterias endofíticas (T3) y aguas residuales más bacterias endofíticas (T4). El valor inicial de hierro en las aguas residuales fue de $0,52 \pm 0,11$ mg/L y posteriormente después de dos semanas, los tratamientos T2 y T3 fueron menores ($p < 0,05$) con niveles de $0,031 \pm 0,14$ a $0,029 \pm 0,15$ mg/L, respectivamente, a diferencia de los tratamientos T1 y T4 con $0,51 \pm 0,12$ y $0,31 \pm 0,13$ mg/L.

Umamaheswari et al. (2011), realizaron un estudio sobre la aplicación de bacterias probióticas (*Bacillus cereus*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Azotobacter vinelandii* y *Lactobacillus sp.*) frente a estanques de cultivo de *Penaeus monodon* con presencia elevada de metales pesados como Cu, Fe, Pb, Zn y Hg. Se utilizaron tres grupos experimentales, tratamiento 1 con baja concentración de probióticos, tratamiento 2 con alta concentración de probióticos y un control con sólo agua del estanque. Al final del estudio la concentración de Fe en los tratamientos 1 y 2 fue menor ($p < 0,05$) con 1,629 mg/L y 1,521 mg/L a diferencia del control con 1,745 mg/L. Adicionalmente se realizó una prueba de zona de inhibición en placa de cultivo con presencia de metales, encontrando que la *P. aeruginosa* presento zona de inhibición frente a Hg de 3,796 mm y 0,060 mm de Cu, *A. hydrophila* frente a Pb fue de 5,526 mm y *B. cereus* frente a Zn y Fe fueron de 4,504 mm y 1,635 mm, respectivamente.

2.2.2. Compuestos químicos como reductores de hierro

Derrick et al. (2024), al realizar una revisión bibliográfica sobre remoción de metales pesados en los sistemas de cultivo acuícola, se ha reportado que el uso de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 0,5% eliminó metales pesados en los cultivos de ostras, además y mejoró la calidad del agua de los sistemas de cultivo de diversas especies hidrobiológicas.

Robles (2018), evaluó los efectos de la biorremediación del hierro en suelos de cultivo de camarón mediante el uso de insumos químicos. Se llevó a cabo un experimento con tres tratamientos: FertiPlus, SilicaPlus, FertiPlus-SilicaPlus y un control, a diferentes dosis para cada insumo con 3; 1,5 y 1,5 g, respectivamente. Al final del estudio se observó una disminución de los niveles de hierro, pero el con

FertiPlus exhibió una diferencia significativa ($p < 0,05$) en comparación con el control, con una reducción del 20% en la concentración de hierro.

Gamarra (2019), determinó la remoción del plomo presente en el suelo mediante la implementación de la técnica de lavado, se emplearon tres tipos de compuestos químicos: EDTA, ácido cítrico y ácido acético, en dos concentraciones diferentes de 0,3 M y 0,5 M. Los resultados fueron mejores utilizando el compuesto EDTA a una concentración de 0,5 M obtuvo una mayor eficacia de remoción del metal pesado logrando un 69,5%.

Mosquera (2014), evaluó la efectividad del proceso de lavado de suelos contaminados con metales pesados (Cu, Pb, Zn), se emplearon dos compuestos químicos: el uso de EDTA como agente quelante resultó en reducciones significativas en las concentraciones de metales pesados, con porcentajes superiores al 93,6% para el cobre (Cu), más de 98,4% para el plomo (Pb) y aproximadamente 88% para el zinc (Zn), a diferencia el ácido cítrico mostró resultados menos efectivos, con reducciones de alrededor del 48,2% para el Cu, 46,2% para el Zn y 88,9% para el Pb, concluyendo que el EDTA es un compuesto eficaz para la remoción de metales pesados del suelo.

Navarrete & Ramírez (2020), evaluaron el uso del EDTA para tratar limpiar suelos contaminados con plomo, realizaron experimentos con diferentes tiempos de lavado y concentraciones de EDTA, utilizando análisis estadístico para comparar los tratamientos, encontraron que todos los tratamientos lograron una remoción significativa de plomo, reduciendo los niveles iniciales de 32,86 mg/kg a valores finales entre 13,01 a 17,02 mg/kg, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que cualquier combinación de concentración y tiempo de lavado de EDTA puede lograr una remoción efectiva de plomo, logrando niveles entre el 48,24% y el 53,25%, dando como resultado que el tratamiento con 0,1% de EDTA durante 24 horas logró la mayor remoción de plomo, alcanzando el 53,25%. Castille & Lawrence (1981), demostraron que el uso de EDTA en concentraciones menores de 0,3 mM no ocasiona problemas de mortalidad ni retraso de la metamorfosis de las larvas de *Penaeus stylirostris*, pero si reduce las concentraciones de cadmio y calcio tóxicos para los estadios larvales de estos camarones.

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de la Empresa AGROACUANÁLISIS S.R.L., sito Mz. T, lote 14, urb. José Lishner Tudela, segunda etapa en la ciudad de Tumbes con ubicación geográfica $3^{\circ}34'06''S$ $80^{\circ}25'25''W$, distrito, provincia y departamento de Tumbes. (figura1)

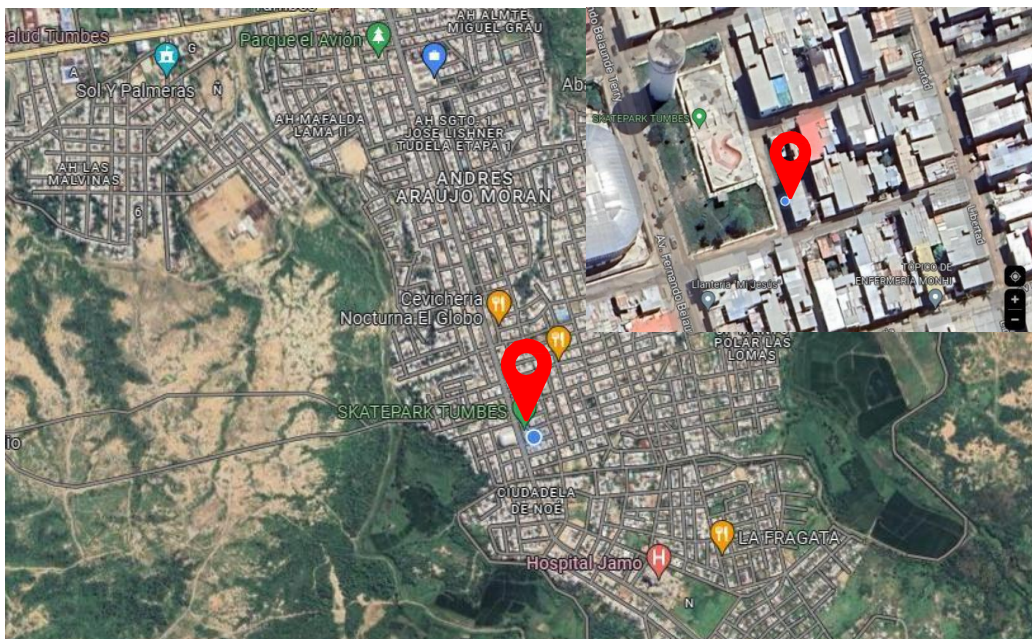


Figura 1. Ubicación del lugar donde se desarrollará la investigación

Fuente: Google Earth, 2024

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis

Aplicada: Porque la investigación busca solucionar un problema práctico y específico: la influencia de la concentración de hierro en el suelo en el crecimiento

y la salud de *Litopenaeus vannamei* en un ambiente controlado. Aunque se realice bajo condiciones experimentales, los resultados obtenidos generarán conocimiento directamente utilizable para optimizar las prácticas de cultivo de langostino, como el manejo de sustratos o la formulación de dietas, buscando mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la acuicultura.

Experimental: Porque el estudio se llevó a cabo a través de un experimento a nivel de laboratorio mediante la aplicación de dos productos consorcios bacterianos y EDTA-Na₄ a las unidades experimentales, esto permitió evaluar el efecto de dos consorcios bacterianos y EDTA-Na₄ de origen comercial producto en la biorremediación de hierro en suelo de cultivo semi intensivo de *L. vannamei*.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

La población estuvo representada por un estanque de tierra de cultivo semi-intensivo de *Litopenaeus vannamei* de una hectárea previamente cosechado, del cual se tomó una muestra de 1 kilogramo de suelo. Para obtener esta cantidad de suelo se realizó el muestreo aleatorio, utilizando el método de Zigzag según el procedimiento descrito por Tovar & Erazo (2009).

3.3.2. Muestra y muestreo

De la muestra de suelo de 1 kilogramo se tomó una submuestra de 100 g. El muestreo fue aleatorio, asegurando la homogeneización del suelo. Posteriormente, la muestra fue preservada en cadena de frío a 4 °C hasta su procesamiento.

3.4. MÉTODO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Material biológico

Las muestras de suelo fueron obtenidas de un estanque de cultivo semi intensivo de *L. vannamei* de 1 ha, posteriormente se transportó al laboratorio AgroAcuAnálisis en cadena de frío utilizando una caja de polietileno y geles refrigerantes para mantener la temperatura de 8 °C.

En el laboratorio el suelo fue homogenizado y dispensado en una cantidad de 100 g en papel aluminio para su secado a temperatura de 105 °C, por 24 horas.

Después del secado se procedió a moler y tamizar hasta un tamaño de partícula <2 mm. El suelo seco y tamizado fue usado en el diseño experimental.

El consorcio bacteriano de origen comercial (Figura 2) estuvo conformado por $1,02 \times 10^9$ UFC/g de *Bacillus amyloliquefaciens*, $5,10 \times 10^8$ UFC/g de *Bacillus licheniformes*, $5,10 \times 10^8$ UFC/g de *Bacillus megaterium* y $5,10 \times 10^8$ UFC/g de *Bacillus pumilus*. En total la concentración del producto fue de $2,55 \times 10^9$ UFC/g.



Figura 2. Tratamiento 2 (Consortio bacteriano)

3.4.2. Aditivo químico

El aditivo químico que se utilizó como quelante del hierro es la sal tetraédrica ácido etindiamintetracético (EDTA- Na_4) al 99% de pureza (Figura 3). Su características físicas - químicas son: polvo de cristal blanco, hidrosoluble y quelación con una variedad de iones metálicos.



Figura 3. Tratamiento 1 (EDTA)

3.4.3. Aplicación del EDTA y consorcio bacteriano

Del consorcio bacteriano se aplicó un mililitro a una concentración de $2,55 \times 10^8$ UFC/mL a cada unidad experimental de dicho tratamiento (Figura 4). En una sola dosis. Para alcanzar la dosis de $2,55 \times 10^8$ UFC/mL se pesó 1g del producto en un tubo de vidrio de 15 mL y se le adicióno 9 mL de solución salina fisiológica estéril al 2% de NaCl.



Figura 4. Adición de consorcio bacteriano a cada unidad experimental

Del EDTA- Na_4 se aplicó un mililitro a una concentración de 100 mg/L a cada unidad experimental (Figura 5). Para obtener la concentración de 100 mg/L, se pesó 0,05 g de EDTA- Na_4 y se enraso en un matraz de 250 mL con 250 mL de agua bidestilada.

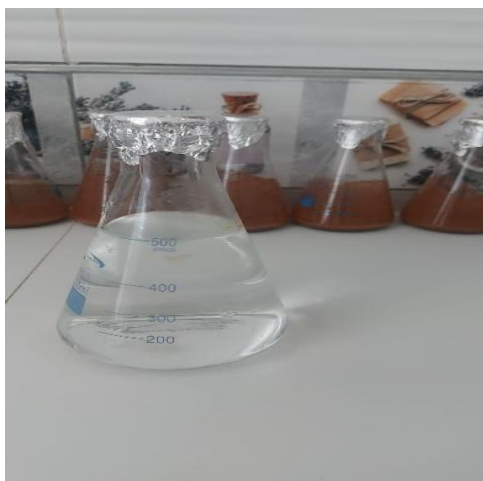


Figura 5. Adición de EDTA a cada unidad experimental

3.4.4. Determinación del porcentaje de remoción del Hierro

Con la siguiente formula se determinó el porcentaje de la remoción del hierro en los tratamientos y control, durante el periodo el estudio (Rodriguez, 2020):

$$E = (Vi - Vr) * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción (%)

Vi: Valor inicial de hierro (Fe)

Vr: Valor de remoción del hierro (Fe)

3.4.5. Condiciones experimentales

Se utilizó nueve matraces de 250 mL de capacidad (Figura 6) (Unidades experimentales), conteniendo 50 g de suelo molido y tamizado y 49 mL de solución salina fisiológica estéril al 2% de NaCl. A tres unidades experimentales se aplicó 1 mL de consorcio bacteriano y a otros tres 1 mL de EDTA a tres restantes se le aplicó 1 mL de agua destilada o solución salina fisiológica estéril.



Figura 6. Unidades experimentales

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1. Diseño de investigación

El diseño de investigación experimental verdadero con una distribución completamente al azar que estuvo conformado por dos productos comerciales y un testigo; Tratamiento 1 (EDTA-Na₄), Tratamiento 2 (Consortio bacteriano) y el

tratamiento testigo (Agua destilada). El periodo de estudio fue de siete días. La dosis fue única y se aplicó al inicio del estudio.

3.5.2. Recolección de datos

Inicialmente, se tomó una muestra de 10 g de suelo seco y tamizado del estanque. Al final del estudio, se recolectó una muestra por cada matraz o unidad experimental, también de 10 g de suelo seco y tamizado.

Para el análisis de hierro disponible para los dos tratamientos y control, tanto al inicio como al final en cada tratamiento se siguió el siguiente procedimiento para el (EDTA -Na₄) y (consorcio bacteriano), cambiando obviamente el compuesto en estudio:

- Se pesó 1 g de suelo seco y tamizado en un tubo de centrifugación de 15 mL.
- Se agregó 9 mL de una solución extractante (EDTA – Na al 0,5 M).
- Se agitó en un vortex o mezclador por 15 a 20 min a 540 rpm.
- Se centrifugó por 10 min a 4000 rpm y se filtró en otro tubo de 15 mL con papel filtro (Solución acuosa).
- Se añadió 1 mL de solución acuosa a una celda de lectura y posteriormente se enrasó hasta 10 mL agregándole 9 mL de agua destilada.
- Se agregó la tableta del kit hierro en la celda con la muestra diluida y se trituró hasta su disolución completa, posteriormente se esperó 10 minutos para su lectura en el equipo YSI 9300.

3.5.3. Evaluación estadística

Los datos obtenidos de la concentración de hierro disponible 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 aplicó la prueba de Tukey, a un nivel de confianza de 95%, utilizando el programa Minitab (Quinn & Keough, 2002).

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos de suelos de cultivo de *Litopenaeus vannamei*

Los tratamientos evaluados, descritos en la Tabla 1, fueron: Tratamiento 1 (EDTA-Na₄), Tratamiento 2 (Consortio bacteriano de *Bacillus Licheniformes*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus Pumilus* y *Bacillus amyloliquefaciens*) y un tratamiento control (Agua destilada).

Al analizar el pH del suelo, se observó una ligera disminución de iones de hidrogeno en todos los grupos al final del estudio, con valores promedio de $6,97 \pm 0,06$ en el Tratamiento 1, $6,92 \pm 0,012$ en el Tratamiento 2 y $6,88 \pm 0,04$ en el control, sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Asunción y Rondo (2021), quienes señalaron que los procesos de biorremediación tienden a mantener estable el pH del suelo. De igual forma, Navarrete y Ramírez (2020) indicaron que el uso de agentes quelantes como el EDTA no provoca alteraciones significativas en la acidez del medio.

En cuanto al Potencial de Oxidación-Reducción (ORP), los valores iniciales promedio aumentaron en todos los grupos, alcanzando 25 ± 1 mV en los tratamientos y 28 ± 2 mV en el control, pero nuevamente sin diferencias significativas ($p > 0,05$). Este incremento podría reflejar una mejora en las condiciones redox del suelo, lo cual coincide con lo descrito por Atuchin et al. (2023), quienes señalan que los microorganismos implicados en biorremediación pueden favorecer ambientes más oxidativos mediante la degradación o transformación de compuestos metálicos. Rodríguez (2020) también reportó un comportamiento similar en sistemas de cultivo de camarón, donde los consorcios microbianos autóctonos mejoraron los niveles de ORP sin generar fluctuaciones extremas.

La concentración de hierro (Fe) disminuyó significativamente en ambos tratamientos, con $48,67 \pm 6,66$ mg/kg en el Tratamiento 1 y $42 \pm 3,61$ mg/kg en el Tratamiento 2, en comparación con el control, que mostró una menor reducción ($69,67 \pm 1,53$ mg/kg). Estas diferencias, obtenidas a partir de las tabla 1 y complementadas con la información consignada en los anexos 3 y 4, fueron estadísticamente significativas, demostrando la mayor eficacia de los tratamientos en la reducción de hierro en el suelo ($p < 0,05$). Resultados similares fueron reportados por Allam (2017), quien concluyó que los consorcios bacterianos presentan una alta eficiencia en la remoción de metales pesados como hierro, tanto en sistemas inmovilizados como en estado libre.

Tabla 1. Promedios de los parámetros de calidad de suelo por tratamiento y control al inicio y final del estudio

Parámetros	Inicio	Final		
		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Control
PH	$7,11 \pm 0,05$	$6,97 \pm 0,06^a$	$6,92 \pm 0,012^a$	$6,88 \pm 0,04^a$
ORP (mV)	$17 \pm 3,46$	25 ± 1^a	25 ± 1^a	28 ± 2^a
Fe (mg/kg)	$86,67 \pm 4,16$	$48,67 \pm 6,66^b$	$42 \pm 3,61^b$	$69,67 \pm 1,53^a$

4.2. Remoción de concentración de hierro (Fe) en suelos de cultivo de *Litopenaeus vannamei*

En la Figura 7 se presentan los porcentajes de remoción de hierro en el suelo para los tratamientos evaluados. El Tratamiento 2, que empleó un consorcio bacteriano compuesto por *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium* y *Bacillus pumilus*, logró la mayor remoción de hierro, alcanzando un 51,54%. Este rendimiento supera al observado por Allam (2017), quien reportó una remoción del 36% utilizando *Bacillus subtilis*. Los resultados son consistentes con los hallazgos de Fulekar et al. (2010), quienes lograron una remoción del 100% con *Bacillus* sp. Estos resultados enfatizan la eficacia de los consorcios bacterianos para la remoción de hierro, respaldando la afirmación de Buendía (2012) de que las estrategias biológicas son preferibles debido a su menor impacto ambiental y costos asociados. El Tratamiento 1, que utilizó EDTA- Na_4 , presentó una remoción del 43,85%. En

comparación, Robles (2018) reportó una remoción de hierro del 20% con el uso de compuestos químicos. Los estudios de Gamarra (2019) y Mosquera (2014) con EDTA para la remoción de metales pesados indicaron eficiencias que oscilan entre el 46% y el 98,4%. El control, que empleó agua destilada, mostró la menor eficacia, con solo un 19,62% de remoción.

Podemos observar que el consorcio bacteriano fue más efectivo debido a la acción sinérgica de las cepas *Bacillus*, que facilitaron la reducción y solubilización del hierro mediante procesos biológicos naturales. Estas bacterias no solo se adaptan al entorno, sino que también mejoran las condiciones del suelo sin alterarlo negativamente. En cambio, el EDTA, aunque es un agente quelante conocido, mostró menor eficacia posiblemente porque su acción depende estrictamente de la dosis, el tiempo de contacto y las características del suelo. A diferencia del consorcio, no actúa de forma activa ni continua, lo que limita su capacidad en sistemas naturales o productivos como los de acuicultura.

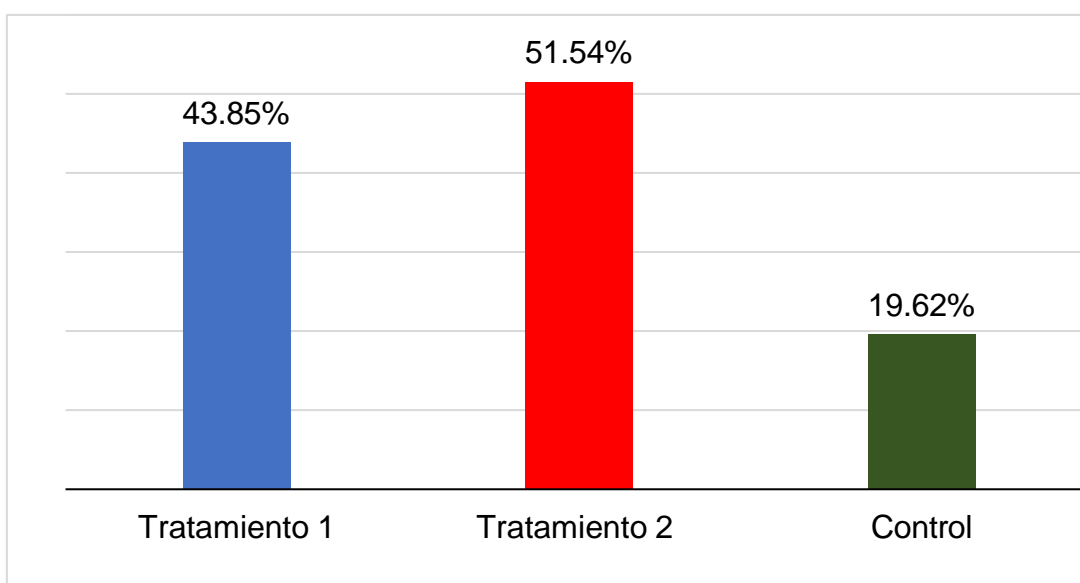


Figura 7. Porcentaje de remoción de hierro (Fe) en el suelo según tratamiento

V. CONCLUSIONES

1. El tratamiento 1 (EDTA) y el tratamiento 2 (consorcio bacteriano) no mostraron diferencias estadísticas significativa ($p < 0,05$) en la disminución de la concentración de hierro, alcanzando valores de 48,07 mg/kg y 42,00 mg/kg respectivamente.
2. El Tratamiento 2, que empleó un consorcio bacteriano compuesto por *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium* y *Bacillus pumilus*, logró la mayor remoción de hierro, alcanzando un 51,54% y el tratamiento 1 alcanzó un 43,85%
3. Estos resultados sugieren que los consorcios bacterianos pueden ser una alternativa efectiva como biorremediadores en suelos rojizos con alta concentración de hierro, ofreciendo una opción sostenible para reemplazar el uso de compuestos químicos como el EDTA.

VI. RECOMENDACIONES

1. Es necesario evaluar el tiempo de remoción del consorcio bacteriano y del EDTA con el objetivo de determinar el tiempo óptimo para maximizar su eficiencia en la eliminación de hierro.
2. Evaluar los costos asociados al uso de consorcios bacterianos en comparación con aditivos químicos u otros métodos de remediación, considerando tanto la eficacia como la sostenibilidad económica y ambiental.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allam, N. (2017). Eficiencia de biorremediación de metales pesados y colorantes azoicos por especies bacterianas individuales o en consorcio, ya sea como células libres o inmovilizadas: un estudio comparativo. *Revista egipcia de botánica*, 57 (3), 555-564. https://ejbo.journals.ekb.eg/article_4383.html
- Atuchin, VV, Asyakina, LK, Serazetdinova, YR, Frolova, AS, Velichkovich, NS y Prosekov, AY (2023). Microorganismos para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Microorganismos* , 11 (4), 864. <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/4/864>
- Astudillo, J. S. (2021). *Causas y efectos de condiciones anóxicas en estanques de cultivo de Litopenaeus vannamei*. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias. Machala: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16576>
- Asunción, k., & Rondo, Y. (2021). *Efectividad de las técnicas de biorremediación en suelos contaminados con metales pesados usando microorganismos*. [Tesis para obtener el título de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo], <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/81191>
- Basha, S.A & Rajaganesh, K. (2014). Biorremediación microbiana de metales pesados procedentes de efluentes de tintes de la industria textil utilizando cepas bacterianas aisladas. *En t. J. Curr. Microbiol. Aplica. Ciencia* , 3 , 785-794. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20143201453>
- Buendía, H. (2012). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 15(30),123-130. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4101>

- Carvajal, L. (25 de Octubre de 2021). *Experiencia con el camarón manchado por hierro*. Obtenido de <https://www.balnova.com/experiencia-con-el-camaron-manchado-por-hierro/>
- Castille Jr, F. L., & Lawrence, A. L. (1981). The effects of EDTA (ethylenedinitrotetraacetic acid) on the survival and development of shrimp nauplii (*Penaeus stylirostris* Stimpson) and the interactions of EDTA with the toxicities of cadmium, calcium, and phenol. *Journal of the World Mariculture Society*, 12(2), 292-304. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1749-7345.1981.tb00303.x>
- Derrick, A., Yohana, M., Yudong, Z., Gongyu, L., Tan, B. & hang, S. (2024). Understanding the detrimental effects of heavy metal pollution in shrimp farming and treatment methods a review. *Annals of Animal Science*,0(0) - . <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0041>
- Do, T. Q., Tran, T. T. T., Nguyen, T. T., & Van Dinh, V. (2021). Assessment of enhanced phytoremediation of shrimp aquaculture wastewater by endophytic bacteria-inoculated floating treatment wetlands. *International Aquatic Research*, 13(4), 253. <https://www.proquest.com/openview/a337433c4c4c1090d3b309f2ed311cac/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2034744>
- Elguera, J. (2020). *Efectos de la contaminación por metales pesados* [Tesis para obtener el título de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20500.12805/1596>
- Fulekar, M. H., Sharma, J., & Tendulkar, A. (2012). Bioremediation of heavy metals using biostimulation in laboratory bioreactor. *Environmental monitoring and assessment*, 184, 7299-7307. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-011-2499-3>
- Frías-Espéricueta, M. G., Aguilar-Juárez, M., Osuna-López, I., Abad-Rosales, S., Izaguirre-Fierro, G., & Voltolina, D. (2011). Los metales y la camaronicultura en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 217-228. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972011000300001

- Gamboa, J. (2020). *Análisis teórico de las técnicas mixtas de nano-biorremediación en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados* [Tesis para obtener el título en Química, Universidad Nacional Abierta Y A Distancia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38436>
- Gamarra, T. (2019). *Remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio* [Tesis para obtener el título de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Agraria de Selva]. <https://repository.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1591>
- Jayasinghe, J. M. P. K. (1991). *The utilization of acid sulphate soils for shrimp (Penaeus monodon) culture on the west coast of Sri Lanka*. [Tesis Doctoral, Universidad de Stirling]. <https://dspace.stir.ac.uk/handle/1893/29450>
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iZg6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=i6lsTq1B2A&sig=S8PFHAKMxSE7KiABMb_ABHuqpf#v=onepage&q&f=false
- Montenegro, S. P., Pulido, S. Y., & Vallejo, L. F. C. (2021). *Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. Notas de Campus*. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/notas/article/view/3451>
- Mosquera, F. (2014). *Evaluación de procesos no convencionales de remediación de relaves sulfurados de minería contaminados con cobre, zinc y plomo* [Tesis para obtener el título de Ingeniería Química, Escuela Politécnica Nacional]. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8679/3/CD-5826.pdf>
- Mustafa Kamal, A. H., Hishamuddin, O., & Boyd, C. E. (2018). Physical and chemical characteristics of soil from tiger shrimp aquaculture ponds at Malacca, Malaysia. *Journal of applied aquaculture*, 30(1), 47-62. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10454438.2017.1406417>
- Navarrete, K., & Ramirez, K. (2020). *Lavado de suelo contaminado con plomo mediante la utilización de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)* [Tesis para obtener el título de Ingeniería en medio ambiental, Escuela Superior

Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López].
<http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8167>

- Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Romero, R. E., Marques, A. G. B., & Otero, X. L. (2013). Iron and sulfur geochemistry in semi-arid mangrove soils (Ceará, Brazil) in relation to seasonal changes and shrimp farming effluents. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 7393-7407.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-013-3108-4>
- Ottow, J. C. G., & Glathe, H. (1971). Isolation and identification of iron-reducing bacteria from gley soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 3(1), 43-55.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071771900307>
- Rodriguez, A. (2020). *Consortio microbiano autóctono in vitro en remediación de efluentes en cultivo de camarón (Litopenaeus Vannamei) de agua dulce* [Tesis de Ingeniero en Medio Ambiente, Escuela Superior Politécnica].
<https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1331>
- Panwichian, S., Kantachote, D., Wittayaweerasak, B., & Mallavarapu, M. (2011). Removal of heavy metals by exopolymeric substances produced by resistant purple nonsulfur bacteria isolated from contaminated shrimp ponds. *Electronic Journal of Biotechnology*, 14(4), 2-2.
<https://www.scielo.cl/pdf/ejb/v14n4/a02.pdf>
- Robles, N. A. (2018). Validación de nitrato de sodio y silicatos para el tratamiento de suelos con problemas de pH, hierro y potencial Redox en Choluteca, Honduras, 2018. *Academia.Edu*.
https://www.academia.edu/37464195/Validaci%C3%B3n_de_nitrato_de_sodio_y_silicatos_para_el_tratamiento_de_suelos_con_problemas_de_pH_art%C3%ADculo_pdf
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge: Cambridge university press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511806384>
- Tovar, S. A., & Erazo, E. C. (2009). *Análisis de las características físico químicas de aguas y suelos de cultivos acuícolas intensivos y superintensivos*. Bogotá: Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia.

Obtenido de <https://www.ceniagua.org/assets/PDFS/Manual%20fisicoquimicos%20Aguas%20y%20Suelos.pdf>

Umamaheswari, G., Srinivasan, M., & Ramanathan, T. (2011). Heavy metal concentration from shrimp culture ponds at point Calimer area. *Current Research Journal of Biological Science*, 3, 73-77.

https://www.researchgate.net/profile/Ramanathan-2/publication/265001817_Heavy_Metal_Concentration_from_Shrimp_Culture_Ponds_at_Point_Calimer_Area/links/544a059d0cf244fe9ea61c7a/Heavy-Metal-Concentration-from-Shrimp-Culture-Ponds-at-Point-Calimer-Area.pdf

Vega-Jara, L. (2021). *Aplicación de métodos físico-químicos y biológicos en suelos contaminados con Cadmio y Plomo*. ISBN. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/03/libro-Vega-Jara-L.-2021.pdf>

ANEXOS



Anexo 1. Secado de suelo del estanque del cultivo de *Litopenaeus vannamei*.



Anexo 2. Trituración de tabletas para lector de fotómetro

Anexo 3. Datos descriptivos de los parámetros del suelo pH, ORP y Fe disponible por tratamientos y control

Prueba	Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
pH	Tratamiento 1	3	20,92	6,97	0,0041
	Tratamiento 2	3	20,77	6,92	0,0002
	Control	3	20,65	6,88	0,0012
ORP (mV)	Tratamiento 1	3	75,00	25,00	1,0000
	Tratamiento 2	3	76,00	25,33	0,3333
	Control	3	84,00	28,00	4,0000
Fe (mg/kg)	Tratamiento 1	3	146,00	48,67	44,3333
	Tratamiento 2	3	126,00	42,00	13,0000
	Control	3	209,00	69,67	2,3333

Anexo 4. Análisis de varianza de los parámetros pH, ORP y Fe disponible por tratamiento y control

Prueba	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
PH	Entre grupos	0,01	2	0,006	3,27	0,1096	5,14
	Dentro de los grupos	0,01	6	0,002			
	Total	0,02	8				
ORP (mV)	Entre grupos	16,22	2	8,111	4,56	0,0624	5,14
	Dentro de los grupos	10,67	6	1,778			
	Total	26,89	8				
Fe (mg/kg)	Entre grupos	1250,89	2	625,444	31,45	0,0007	5,14
	Dentro de los grupos	119,33	6	19,889			
	Total	1370,22	8				

Anexo 5. Datos de parámetros de suelo obtenidos al inicio del estudio.

Repeticiones	pH	ORP	Fe (mg/kg)
1	7,12	19	82
2	7,05	19	88
3	7,15	13	90
Promedio	7,11	17	86,7
D.S.	0,05	3	4,2

Anexo 6. Datos de parámetros de suelo obtenidos al final del estudio.

Pruebas	Repeticiones	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Control
pH	1	7,00	6,91	6,85
	2	6,90	6,94	6,88
	3	7,02	6,92	6,92
	Promedio	6,97	6,92	6,88
	D.S.	0,06	0,02	0,04
ORP (mV)	1	26	25	28
	2	25	25	26
	3	24	26	30
	Promedio	25	25	28
	D.S.	1	1	2
Fe (mg/kg)	1	52,0	46,0	68,0
	2	53,0	39,0	71,0
	3	41,0	41,0	70,0
	Promedio	48,7	42,0	69,7
	D.S.	6,7	3,6	1,5