UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA

Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa

INFORME DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORES:

Bach. Dominguez Mendez, Adaly Keiko
Código ORCID: 0009-0005-0875-5816

Bach. Santos Jaque, Ruth Mireli
Código ORCID: 0009-0003-1132-4107

ASESOR:
Ms. Aquino Minchán, Wilmer
DNI. N° 26602902
Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

En cumplimiento con las disposiciones vigentes en la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma de la Universidad Nacional del Santa, la tesis denominado **"Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa"**, ha sido presentado con rigor científico. Por lo que, en mi condición de asesor, doy conformidad para su ejecución.

ASESOR

Ms. Aquino Minchán Wilmer
DNI: 26602902
Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente Jurado evaluador da la conformidad del trabajo de la tesis desarrollado en cumplimiento con las disposiciones vigentes en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, titulado **"Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa"**

Ms. Nélida Guillesi Escalante Espinoza
PRESIDENTE
DNI: 40559155
Código ORCID: 0009-0005-2115-7220

Ms. Santos Herrera Cherres
SECRETARIO
DNI: 33260931
Código ORCID: 0000-0002-8880-063X

Ms. Aquino Minchán Wilmer
INTEGRANTE
DNI: 26602902
Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AGRÓNOMA
epagronoma@uns.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 22 días del mes de octubre del año dos mil veintiséis, siendo las 11:00 am. en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma del Campus II de la UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 588-2026-UNS-FI, integrado por los docentes: **Ms. Nélida Guillesi Escalante Espinoza (Presidente), Ms. Santos Herrera Cherres (Secretario - accesitario) y Ms. Wilmer Aquino Minchán (Integrante),** para la sustentación de la Tesis titulada **"EMPLEO DE RESIDUOS HIDROBIOLÓGICOS EN EL MEJORAMIENTO DE SUELO DEL ÁREA CULTIVABLE DEL FUNDO SANTA ROSA, SANTA" ,** perteneciente a las bachilleres**: SANTOS JAQUE RUTH MIRELI con código de matrícula N° 0201615018 y DOMINGUEZ MÉNDEZ ADALY KEIKO, con código de matrícula N° 0201615022,** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma, quienes fueron asesorados por el docente: **Ms. Wilmer Aquino Minchán (R.D. N° 122-2024-UNS-FI).**

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
DOMINGUEZ MÉNDEZ ADALY KEIKO	16	REGULAR

Siendo la 12:00 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, octubre 22 del 2026

Ms. Nélida Guillesi Escalante Espinoza
PRESIDENTE

Ms. Santos Herrera Cherres
SECRETARIO

Ms. Wilmer Aquino Minchán
INTEGRANTE

CS Escaneado con CamScanner

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AGRÓNOMA
epagronoma@uns.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 22 días del mes de octubre del año dos mil veintiséis, siendo las 11:00 am. en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma del Campus II de la UNS, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 588-2026-UNS-FI, integrado por los docentes: **Ms. Nélida Guillesi Escalante Espinoza (Presidente), Ms. Santos Herrera Cherres (Secretario - accesitario) y Ms. Wilmer Aquino Minchán (Integrante),** para la sustentación de la Tesis titulada **"EMPLEO DE RESIDUOS HIDROBIOLÓGICOS EN EL MEJORAMIENTO DE SUELO DEL ÁREA CULTIVABLE DEL FUNDO SANTA ROSA, SANTA" ,** perteneciente a las bachilleres**: SANTOS JAQUE RUTH MIRELI con código de matrícula N° 0201615018 y DOMINGUEZ MÉNDEZ ADALY KEIKO, con código de matrícula N° 0201615022,** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma, quienes fueron asesorados por el docente: Ms. Wilmer Aquino Minchán **(R.D. N° 122-2024-UNS-FI).**

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
SANTOS JAQUE RUTH MIRELI	16	REGULAR

Siendo la 12:00 pm del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, octubre 22 del 2026

Ms. Nélida Guillesi Escalante Espinoza
PRESIDENTE

Ms. Santos Herrera Cherres
SECRETARIO

Ms. Wilmer Aquino Minchán
INTEGRANTE

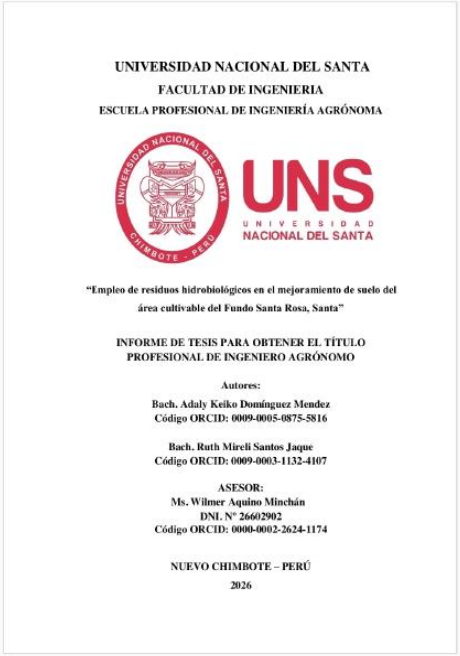
Escaneado con CamScanner

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Adaly Keiko Domínguez Méndez
Título del ejercicio:	Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de su...
Título de la entrega:	Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento del su...
Nombre del archivo:	uelo_del_a_rea_cultivable_del_Fundo_Santa_Rosa,_Santa_ST-_2...
Tamaño del archivo:	3.43M
Total páginas:	101
Total de palabras:	20,937
Total de caracteres:	114,783
Fecha de entrega:	24-jul-2026 07:45a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	3002658491



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA

"Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa"

INFORME DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO

Autores:
Bach. Adaly Keiko Domínguez Mendez
Código ORCID: 0009-0005-0875-5816

Bach. Ruth Mireli Santos Jaque
Código ORCID: 0009-0003-1132-4107

ASESOR:
Ms. Wilmer Aquino Minchán
DNI. N° 26602902
Código ORCID: 0000-0002-2624-1174

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ
2026

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento del suelo del área cultivable en el fundo Santa Rosa. Santa"

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	17%	6%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	revista.sciencevolution.com Fuente de Internet	<1%
9	studylib.es Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Submitted on 1691782005049 Trabajo del estudiante	<1%
11	www.campustudionline.com Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1%
13	www.revista.ccba.uady.mx Fuente de Internet	<1%
14	apirepositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1%

repositorio.upsc.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino colmando de bendiciones siendo mi fortaleza e inspiración.

A mis queridos padres, Maria y Nicolás por su inmenso amor, por ser el pilar fundamental en mi vida, por sus sacrificios y por enseñarme que los sueños si se cumplen con esfuerzo, perseverancia y responsabilidad. Gracias por confiar siempre en mì y por brindarme el apoyo necesario para alcanzar este logro tan importante en mi vida. A mis hermanos, Reyven y Alyson por su cariño, compañía y apoyo constante. Por ayudarme a afrontar momentos difìciles. Su apoyo y confianza han sido mi fortaleza durante todo este proceso.

A mi amada hija, Zoé, quien se ha convertido en la luz de mi vida y en la fuerza que impulsa mis sueños. Cada esfuerzo realizado tiene como propósito construir un mejor futuro para ti. A mi compañero de vida, Jorge, por su amor, comprensión y apoyo incondicional. Gracias por acompañarme en cada desafío , creer en mi y motivarme a no rendirme hasta alcanzar este logro.

Ruth Mireli Santos Jaque

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino. Gracias por brindarme sabiduría, perseverancia y esperanza para superar los desafíos presentados durante el desarrollo de esta tesis.

A mis queridos padres, Aurelio Domínguez y Rina Méndez, por su amor incondicional, sus enseñanzas, sacrificios y apoyo constante a lo largo de mi vida. Gracias por inculcarme valores que me han permitido crecer personal y profesionalmente. A mi hermano, por su compañía, confianza y aliento permanente, que me motivaron a seguir adelante y no rendirme ante las dificultades.

A mi amado compañero de vida, Miguel Cárdenas, por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional durante este proceso. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada paso hacia esta meta. A mis adoradas hijas, Chloe y Alba, quienes son la mayor inspiración de mi vida; su amor, alegría y ternura me impulsan cada día a ser mejor. Este logro también les pertenece a ustedes, porque son el motor que da sentido a todos mis esfuerzos y sueños.

Adaly Keiko Domìnguez Mèndez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarnos la vida, la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa tan importante de nuestra formación profesional.

A nuestros queridos padres, por su amor incondicional, sus consejos y sacrificios constantes, quienes con su apoyo y confianza nos motivaron a seguir adelante y a no rendirme ante las dificultades.

A nuestros hermanos y familiares, por su compañía, comprensión y palabras de aliento durante todo este proceso académico, siendo un gran soporte en cada momento.

Asimismo, expresamos un sincero agradecimiento a nuestro asesor de tesis, por su orientación, apoyo, paciencia y valiosos conocimientos brindados durante el desarrollo de esta investigación, los cuales fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA viii

AGRADECIMIENTO x

ÍNDICE xi

ÍNDICE DE TABLAS xiii

ÍNDICE DE FIGURAS xv

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

I. INTRODUCCIÓN 18

1.1. Descripción y formulación del problema 18

1.2. Objetivos de la investigación 19

1.2.1. Objetivo general 19

1.2.2. Objetivos específicos 19

1.3. Formulación de hipótesis 19

1.4. Justificación e importancia de la investigación 20

II. MARCO TEÓRICO 22

2.1. Antecedentes 22

2.2. Marco conceptual 26

2.2.1. Residuos hidrobiológicos 26

2.2.2. Caracterización de suelo 31

III. METODOLOGÍA 40

3.1. Ubicación del experimento 40

3.2. Enfoque 41

3.3. Diseño de investigación 41

3.4. Población 43

3.5. Muestra 43
3.6. Operacionalización de las variables 45
3.7. Procedimiento 46
3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 60
3.8.1. Técnicas 60
3.8.2. Instrumentos 61
3.9. Técnicas de análisis de resultados 61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 62
4.1. Resultados 62
4.1.1. Características del suelo antes de la aplicación de los tratamientos 62
4.1.2. Características del suelo después de la aplicación de los tratamientos 64
4.1.3. Efecto de los residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo 68
4.2. Discusión 85
4.2.1. Efecto de residuos hidrobiológicos en las características físicas de suelo 85
4.2.2. Efecto de residuos hidrobiológicos en las características químicas de suelo 86
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92
5.1. Conclusiones 92
5.2. Recomendaciones 93
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95
VII. ANEXOS 101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamientos en estudio 42

Tabla 2 Operacionalización de las variables 45

Tabla 3 Caracterización físico-química de los residuos hidrobiológicos 59

Tabla 4 Esquema de Análisis de Varianza (DBCA) 62

Tabla 5 Características físicas del suelo antes de la aplicación de los residuos hidrobiológicos 62

Tabla 6 Características químicas (pH, CE, M.O., equilibrio catiónico) antes de los tratamientos 63

Tabla 7 Características químicas del suelo (Macro y micronutrientes) antes de los tratamientos 63

Tabla 8 Características físicas del suelo después de la aplicación de los tratamientos .. 64

Tabla 9 Características químicas del suelo (pH, CE, M.O., equilibrio catiónico) después de la aplicación de los tratamientos 66

Tabla 10 Características químicas del suelo (Macro y micronutrientes) después de tratamientos 67

Tabla 11 ANVA para características físicas del suelo según tratamientos 68

Tabla 12 Test de Duncan para contenido de arena en el suelo según tratamientos 69

Tabla 13 Test de Duncan para contenido de limo en el suelo según tratamientos 70

Tabla 14 ANVA para los indicadores de reacción y estado salino del suelo según tratamientos 71

Tabla 15 Test de Duncan para conductividad eléctrica en el suelo según tratamientos . 72

Tabla 16 ANVA para materia orgánica del suelo según tratamientos 72

Tabla 17 Test de Duncan para materia orgánica en el suelo según tratamientos 73

Tabla 18 ANVA para el complejo de cambio y equilibrio catiónico del suelo 73

Tabla 19 Test de Duncan para capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) en el suelo 75
Tabla 20 Test de Duncan para calcio de cambio (Ca) en el suelo 75
Tabla 21 Test de Duncan para magnesio de cambio (Mg) en el suelo 76
Tabla 22 Test de Duncan para sodio de cambio (Na) en el suelo..... 76
Tabla 23 Test de Duncan para potasio de cambio (K) en el suelo..... 77
Tabla 24 ANVA para contenido de macronutrientes del suelo 78
Tabla 25 Test de Duncan para contenido de nitrógeno (N) en el suelo..... 79
Tabla 26 Test de Duncan para contenido de fósforo disponible (P)en el suelo..... 80
Tabla 27 Test de Duncan para contenido de potasio disponible (K) en el suelo..... 80
Tabla 28 Test de Duncan para contenido de calcio disponible (Ca) en el suelo 81
Tabla 29 Test de Duncan para contenido de magnesio disponible (Mg) en el suelo 81
Tabla 30 ANVA para contenido de micronutrientes del suelo..... 82
Tabla 31 Test de Duncan para contenido de zinc disponible (Zn) en el suelo 83
Tabla 32 Test de Duncan para contenido de manganeso disponible (Mn) en el suelo... 84
Tabla 33 Test de Duncan para contenido de hierro disponible (Fe) en el suelo..... 84
Tabla 34 Test de Duncan para contenido de boro disponible (B) en el suelo 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicaciòn del Fundo "Santa Rosa" 40

Figura 2 Croquis del àrea experimental 42

Figura 3 Unidad experimental con un muestreo en "X" (Cinco de oros) 43

Figura 4 Riego machaco 46

Figura 5 Delimitaciòn y marcado del àrea experimental 47

Figura 6 Desmalezado manual 48

Figura 7 Diagrama de flujo de la elaboración de las enmiendas orgánicas 49

Figura 8 Revisiòn de humedad de los residuos de pescado 50

Figura 9 Secado de residuos de pescado y biofouling 50

Figura 10 Incorporaciòn de biofouling al molino (Molido) 51

Figura 11 Envasado del abono de residuos de pescado 52

Figura 12 Extracciòn de muestra de suelo 53

Figura 13 Diagrama de flujo del anàlisis de suelo 54

Figura 14 Tamizado de muestra de suelo 54

Figura 15 Pesado de muestra de suelo 55

Figura 16 Paquetes de muestras de suelo rotuladas 56

Figura 17 Caja contenida con muestras de suelo 56

Figura 18 Informe de laboratorio con los resultados de anàlisis de suelo 57

Figura 19 Diagrama de flujo para anàlisis de enmiendas orgànicas 58

Figura 20 Incorporaciòn de abono a base de residuos de pescado. 60

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas a base de residuos hidrobiológicos (residuo de pescado y biofouling) en el mejoramiento de las características físico-químicas del suelo del Fundo Santa Rosa. La metodología se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de tipo aplicado con un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), evaluando cuatro tratamientos: un testigo (T0), residuos de pescado (T1), biofouling (T2) y una mezcla mixta al 50% (T3). Se realizaron análisis de laboratorio antes y después de la intervención, procesando los datos mediante análisis de varianza (ANVA) y pruebas de comparación de medias de Duncan. Los resultados más relevantes indicaron que la aplicación de residuos generó cambios significativos ($p<0,05$) en la estructura física, logrando una transición de clase textural franco-arcillosa a franca en los tratamientos T1 y T3. En el ámbito químico, se registró un incremento sustancial en la fertilidad: el tratamiento T1 alcanzó el nivel más alto de materia orgánica (3,10%) y nitrógeno (1592,90 mg/kg), mientras que el T3 optimizó la disponibilidad de calcio (5214,25 mg/kg) y boro. Sin embargo, se observó un aumento en la conductividad eléctrica, especialmente en el tratamiento T2 (44,33 mS/cm), debido a la carga salina inherente a los residuos marinos. Se concluye que las enmiendas hidrobiológicas mejoran de manera integral la disponibilidad de nutrientes y el complejo de cambio del suelo, transformando su potencial productivo.

Palabras clave: residuo de pescado, biofouling, características del suelo

ABSTRACT

The present research aimed to determine the effect of applying organic amendments based on hydrobiological waste (fish waste and biofouling) on the improvement of the physicochemical characteristics of the soil at Fundo Santa Rosa. The methodology was developed under a quantitative applied approach with a completely randomized block design (CRBD), evaluating four treatments: a control (T0), fish waste (T1), biofouling (T2), and a 50% mixed blend (T3). Laboratory analyzes were conducted before and after the intervention, processing the data using analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test. The most relevant results indicated that the application of residues generated significant changes ($p<0.05$) in the physical structure, achieving a transition from a clay-loam texture class to a loam in treatments T1 and T3. In the chemical domain, a substantial increase in fertility was recorded: treatment T1 reached the highest level of organic matter (3.10%) and nitrogen (1592.90 mg/kg), while T3 optimized the availability of calcium (5214.25 mg/kg) and boron. However, a critical increase in electrical conductivity was observed, especially in treatment T2 (44.33 mS/cm), due to the saline load inherent in marine waste. It is concluded that hydrobiological amendments comprehensively improve nutrient availability and the soil exchange complex, transforming its productive potential.

Keywords: fish waste, biofouling, soil characteristics

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

La degradación de suelos se ha convertido en una crisis ambiental que amenaza la seguridad alimentaria. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), un 33% de los suelos mundiales está en proceso de degradación afectando aproximadamente unos 1.500 millones de hectáreas orientados a la agricultura. (FAO, 2015).

En Perú, la situación no es menos alarmante. Un estudio del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) reporta que aproximadamente el 60% de las tierras agrícolas presentan algún grado de degradación (INEI, 2020) a causa de la erosión, la salinización y la merma de materia orgánica afectando directamente la productividad de los suelos peruanos y consecuentemente la economía agrícola del país y la subsistencia de muchas comunidades rurales.

En la región de Santa, donde se encuentra el Fundo Santa Rosa, la degradación del suelo es especialmente crítica. Investigaciones indican que, en áreas agrícolas de esta región, más del 50% de los suelos están afectados por la erosión y la pérdida de nutrientes (Ministerio de Agricultura del Perú, 2021). Esto no solo reduce la capacidad productiva de los suelos, sino que también agrava la vulnerabilidad de los agricultores ante cambios climáticos.

El Fundo Santa Rosa, que cuenta con un suelo franco arenoso (51% arena,35% limo y 14% arcilla), según el análisis fisicoquímico de suelo del Fundo mencionado realizado en la investigación de Clavijo (2022) indica que cuenta con materia orgánica baja de 0.3%, de continuar con las prácticas agrícolas tradicionales conllevaría a la pérdida de nutrientes y estructura del suelo.

En este contexto, los residuos hidrobiológicos, como los restos de pescado y biofouling, representan un recurso potencialmente valioso que, si se gestionan adecuadamente, podrían mejorar los estándares de calidad del suelo. La investigación plantea el empleo de dos enmiendas orgánicas a base de residuos hidrobiológicos para determinar el efecto de su aplicación en las características fisicoquímicas del suelo. Por ello, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál será el efecto del empleo de los residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

- Determinar el efecto del empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar las características fisicoquímicas del suelo antes de la aplicación de enmiendas orgánicas a base de residuos hidrobiológicos.
- Analizar las características fisicoquímicas del suelo después de la aplicación de enmiendas orgánicas a base de residuos hidrobiológicos.
- Determinar el efecto del empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento las características físicas de suelo.
- Determinar el efecto del empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento las características químicas de suelo.

1.3. Formulación de hipótesis

El empleo de residuos hidrobiológicos mejorará el suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

El empleo de las enmiendas orgánicas a base de residuos hidrobiológicos tiene un impacto social significativo, ya que contribuye a mejorar la calidad de vida de los agricultores locales. Al fomentar prácticas agrícolas sostenibles, se promueve la seguridad alimentaria y se impulsa la producción de cultivos de mayor calidad. Además, al incorporar estos residuos en el manejo de suelos, se generan oportunidades para la educación y capacitación en técnicas de agricultura orgánica, promoviendo una agricultura más responsable y consciente.

Desde el punto de vista ambiental, la utilización de residuos hidrobiológicos contribuye a la reducción de la contaminación y a la gestión adecuada de desechos. Estos residuos, si no se manejan adecuadamente, pueden generar impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Al transformarlos en enmiendas orgánicas, se favorece la mejora de la salud del suelo, aumentando su fertilidad y capacidad de retención de agua, lo que resulta en una agricultura más resiliente frente al cambio climático. Esta práctica también fomenta la biodiversidad del suelo, esencial para un ecosistema agrícola equilibrado.

Económicamente, al emplear residuos de pescado y biofouling, que son subproductos de la industria pesquera y acuícola, se eliminan los costos asociados a la adquisición de insumos agrícolas convencionales. Esto no solo reduce los gastos operativos de los agricultores, sino que también convierte un potencial problema de desecho en una valiosa fuente de nutrientes. El empleo de enmiendas orgánicas puede resultar en una disminución de costos para los agricultores, al reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Además, esta práctica puede abrir nuevas oportunidades de mercado para productos cultivados de manera sostenible, sumado a la creciente demanda de alimentos orgánicos.

La investigación sobre el empleo de enmiendas orgánicas en el Fundo Santa Rosa es fundamental para demostrar un enfoque innovador y sostenible en la agricultura. Este estudio no solo abordará la problemática del manejo de residuos hidrobiológicos, sino que también brindará evidencia sobre sus beneficios en la mejora de suelos, la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. Los resultados pueden servir de modelo para otras comunidades agrícolas en Perú y más allá, promoviendo un cambio hacia prácticas agrícolas más sostenibles y responsables.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el contexto internacional se tiene a; Briseño-López et al. (2025) desarrollaron un estudio en California, Estados Unidos; con el objetivo de determinar el efecto de diversas enmiendas orgánicas en el control del nematodo *Meloidogyne incognita* y en las propiedades fisicoquímicas del suelo. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo de carácter experimental, donde se compararon tres enmiendas orgánicas (vermicompost, estiércol vacuno y abono verde de neem) frente a un fertilizante sintético y un testigo de agua, mediante un diseño de bloques completos al azar con 15 repeticiones por tratamiento. Los resultados evidenciaron que la aplicación de vermicompost redujo significativamente la población de la plaga hasta en un 80% en comparación con el control. Se concluyó que esta enmienda influyó de manera positiva y consistente en el incremento del contenido de materia orgánica (1,11%), la conductividad eléctrica, el pH y el calcio intercambiable, superando la eficacia de los demás tratamientos evaluados.

Fernández-Rodríguez et al. (2024) realizaron una investigación en Colombia; con el propósito de determinar las variaciones en las propiedades físicas de un suelo sometido a la aplicación de diferentes dosis de materia orgánica derivada de escarabajos. El estudio empleó un enfoque cuantitativo bajo un diseño experimental completamente aleatorizado que incluyó cinco niveles de tratamiento (0, 4, 8, 12 y 16 t/ha) con un periodo de interacción edáfica de 70 días previo a las mediciones de laboratorio. Los hallazgos indicaron que la incorporación de este residuo orgánico afectó significativamente la densidad aparente, el índice de estabilidad de agregados, la resistencia a la penetración y la humedad volumétrica. Los autores concluyeron que, mientras la dosis de 4 t/ha optimizó la estabilidad estructural, la aplicación de 16 t/ha resultó ser la más efectiva para

reducir la compactación y mejorar la calidad física del suelo en términos de plasticidad y retención hídrica.

Laínez-Vanegas et al. (2024) llevaron a cabo un estudio en Nicaragua; cuyo objetivo fue evaluar el impacto de enmiendas orgánicas basadas en biocarbón, bovinaza y gallinaza sobre las características químicas y físicas del suelo. La metodología se basó en el establecimiento de seis tratamientos, incluyendo un testigo y diversas combinaciones de biocarbón con abonos animales, distribuidos en parcelas experimentales de 9 m². Los resultados demostraron que la gallinaza proporcionó el mayor aporte de nitrógeno (2,85%) y una humedad significativamente superior (132,41%) en comparación con la bovinaza y las mezclas con biocarbón. Se concluyó que, aunque la gallinaza es una fuente rica en nutrientes, su pH ligeramente ácido requiere monitoreo, destacando que su combinación con biocarbón logra una mayor estabilidad del pH en el sistema suelo-enmienda.

Deng et al. (2023) desarrollaron una investigación en China; con el fin de evaluar la eficacia de un fertilizante orgánico derivado de residuos de Ganoderma lucidum (GLR) sobre las propiedades fisicoquímicas y las comunidades microbianas de un suelo salino-alcalino. El experimento se ejecutó mediante un ensayo en macetas bajo condiciones controladas, utilizando un diseño con seis proporciones de aplicación de GLR (del 0% al 25%) y cinco repeticiones por tratamiento. Los resultados revelaron una disminución significativa del pH, la densidad aparente y la conductividad eléctrica, junto con un incremento en la porosidad, la humedad y la actividad de las enzimas invertasa y amilasa. La investigación concluyó que la incorporación del residuo al 25% fue la más efectiva para mejorar la estructura del suelo y potenciar la diversidad y riqueza de la comunidad microbiana, constituyendo una estrategia viable para la recuperación de suelos degradados por sales.

Mindari et al. (2023) ejecutaron un estudio en Indonesia; con el objetivo de determinar las modificaciones en las características físicas y químicas de un suelo Vertisol mediante la aplicación de materia orgánica y arena. La metodología se fundamentó en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones, evaluando siete tipos de materia orgánica (estiércol, compost, humina, ácido húmico y biocarbón) combinados con dosis variables de arena. Los resultados mostraron una interacción significativa entre las variables, destacando que el tratamiento conjunto de humina y arena alcanzó los valores más altos de carbono orgánico (20%). Se concluyó que la materia orgánica por sí sola mejora propiedades químicas como el pH, la CIC y el fósforo disponible, mientras que la adición de arena al 20% representa la dosis óptima para optimizar la porosidad y la densidad de partículas en suelos de textura pesada.

En el ámbito nacional se tienen los estudios de Chura (2025) en la ciudad de Tacna realizó un estudio con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de biochar e hidrolizado de pescado para el mejoramiento de suelos salinos de la Yarada Los Palos. La investigación fue de carácter experimental y empleó un diseño completamente aleatorizado para evaluar el impacto de los tratamientos en variables físico-químicas del suelo y el índice de germinación. Los resultados evidenciaron que el hidrolizado de pescado fue la enmienda más eficaz, al reducir la conductividad eléctrica a 3,84 dS/m, estabilizar el pH en 7,18 y alcanzar un índice de germinación del 96,4%, además de optimizar la porosidad y la retención de humedad. El estudio concluyó que el uso de hidrolizado de pescado representa una herramienta sostenible y de alto potencial para la rehabilitación de suelos afectados por salinidad en zonas áridas y semiáridas del Perú.

Felles-Leandro et al. (2025) desarrollaron una investigación en la ciudad de Huaura; con el objetivo de evaluar el efecto de distintas fuentes orgánicas sobre las propiedades químicas del suelo, el rendimiento y el calibre de frutos en un cultivo orgánico de palto

variedad Hass. La metodología consistió en un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones, evaluando fuentes como guano de las islas, estiércol de gallina, vacuno, compost y vermicompost en dosis de 0,340 kg N/árbol. Los resultados demostraron que las enmiendas modificaron significativamente la química edáfica e incrementaron el rendimiento frente al control, logrando porcentajes de fruta exportable superiores al 93%. Se concluyó que el compost, el estiércol de gallina y el vermicompost poseen un alto potencial para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad del palto orgánico en la franja costera peruana.

Mercado (2025) en la ciudad de Chimbote, presentó una tesis con el objetivo de evaluar el efecto del biol de residuos de pescado obtenido mediante fermentación láctica en la productividad y calidad del suelo en el cultivo de betarraga. La metodología incluyó cuatro tratamientos con dosis crecientes de biol y cuatro repeticiones bajo un enfoque experimental de campo. Los resultados mostraron que la dosis de 24 ml/20 l de agua optimizó la productividad y mejoró las condiciones del suelo, elevando el contenido de materia orgánica de 0,64 a 1,20 y el nitrógeno de 0,14 a 0,22, manteniendo un pH estable. La investigación concluyó que el empleo de residuos hidrobiológicos procesados mediante biol incrementa significativamente la calidad físico-química del suelo y el valor nutricional de los cultivos evaluados en la provincia del Santa.

Aimituma-Franco et al. (2023) en la ciudad de Cusco realizaron un trabajo de investigación con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas basadas en estiércol de cuy y vaca para la biorrecuperación de un suelo salino. Se empleó un diseño de bloques completamente aleatorios con evaluaciones periódicas a los 30, 60 y 90 días para monitorear la evolución de las propiedades del suelo. Los resultados indicaron una disminución del pH de 8,05 a 7,3 y de la conductividad eléctrica hasta 1,2 mmhos/cm, logrando un porcentaje de sodio intercambiable del 7% e

incrementando la disponibilidad de macronutrientes. El estudio concluyó que la aplicación de estas enmiendas demostró efectos positivos de biorrecuperación, mejorando favorablemente las propiedades químicas y físicas del suelo afectado por sales en la región andina.

Huaroc et al. (2021) en la ciudad de Junín; llevaron a cabo una investigación con el objetivo de evaluar el mejoramiento de suelos cultivados de maca mediante la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas. La metodología utilizó un diseño completamente al azar para probar dosis de compost y vermicompost (10% y 20%) comparadas con óxido de calcio y yeso agrícola. Los resultados revelaron que el vermicompost al 20% fue el tratamiento más eficiente al disminuir la densidad aparente, incrementar la porosidad total, elevar el pH y aumentar significativamente el contenido de materia orgánica, fósforo y la capacidad de intercambio catiónico. Se concluyó que las enmiendas orgánicas, especialmente el vermicompost en dosis altas, son superiores para restaurar la estructura física y la fertilidad química de los suelos destinados al cultivo intensivo de maca.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Residuos hidrobiológicos

Los residuos hidrobiológicos se definen como aquellos materiales, restos o subproductos orgánicos que provienen de la captura, extracción, procesamiento y comercialización de recursos hidrobiológicos, incluyendo pescados, moluscos, crustáceos y algas. En lugar de ser considerados simples desechos, estos materiales son reconocidos actualmente como fuentes valiosas de biopolímeros, proteínas, lípidos y minerales, cuyo aprovechamiento bajo un enfoque de economía azul permite mitigar el impacto ambiental de su disposición inadecuada en las zonas costeras (Vera et al., 2022).

Desde una perspectiva técnica y ambiental, los residuos hidrobiológicos se caracterizan por su alta biodegradabilidad y su densidad nutricional; el manejo de estos residuos mediante procesos de hidrólisis o compostaje permite transformar una fuente potencial de contaminación en un insumo de alto valor agronómico. La complejidad molecular de estos restos, ricos en aminoácidos y colágeno, favorece una rápida interacción con el microbiota del suelo, acelerando la formación de sustancias húmicas y mejorando la fertilidad biológica (Chura, 2025). Por tanto, la gestión de los residuos generados en las actividades pesqueras y acuícolas no solo representa un reto logístico, sino una oportunidad para la generación de enmiendas que restauran la funcionalidad de agroecosistemas degradados por la salinidad y la pérdida de materia orgánica (Felles-Leandro et al., 2025; Pérez-Porras et al., 2024).

a. Beneficios de los residuos hidrobiológicos en el suelo

La incorporación de residuos hidrobiológicos en el suelo genera beneficios multifactoriales que potencian la productividad agrícola mediante la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Desde una perspectiva física, estos residuos actúan como acondicionadores edáficos que promueven la formación de agregados estables y reducen la densidad aparente; la degradación de las proteínas y lípidos marinos libera compuestos cementantes que mejoran la porosidad y la capacidad de retención de humedad, lo cual es crítico en suelos de textura arenosa (Fernández-Rodríguez et al., 2024). Al optimizar la estructura del suelo, se facilita una mejor infiltración del agua de riego y se minimizan los riesgos de erosión y compactación, creando un entorno físico ideal para el desarrollo del sistema radicular (Osuna-Ceja et al., 2024).

En el ámbito químico, los beneficios se traducen en un incremento sustancial de la fertilidad y en la regulación de la salinidad. De acuerdo con Vera et al. (2022), la aplicación de estas enmiendas eleva la capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que

permite al suelo retener cationes esenciales y evitar la lixiviación de nutrientes. Además, investigaciones recientes de Chura (2025) han demostrado que el hidrolizado de pescado posee un efecto remediador en suelos salinos, ya que facilita el desplazamiento de las sales solubles hacia horizontes más profundos, estabilizando la conductividad eléctrica y el pH en rangos óptimos para el cultivo.

Finalmente, el beneficio biológico es quizás el más dinámico, ya que estos residuos estimulan la vida del suelo. La riqueza en aminoácidos y biopolímeros del residuo marino sirve como sustrato energético para el microbiota edáfico, incrementando la diversidad de bacterias y hongos benéficos; este aumento en la actividad microbiana no solo acelera la síntesis de humus, sino que también mejora el control biológico natural frente a fitopatógenos y promueve la liberación de hormonas de crecimiento vegetal (Briseño-López et al., 2025; Fernández-Rodríguez et al., 2024).

b. Residuo de pescado

La composición química de los residuos de pescado se caracteriza por un elevado contenido de proteínas, lípidos y minerales esenciales, cuya proporción varía según la especie, el tejido procesado (vísceras, cabezas o esqueletos) y el método de estabilización; estos residuos poseen una concentración de nitrógeno total que oscila entre el 7% y el 11% en base seca, presentándose mayoritariamente en forma de nitrógeno orgánico (proteínas y aminoácidos). Esta característica es distintiva, ya que, a diferencia de los fertilizantes sintéticos, el residuo de pescado ofrece una liberación gradual de nutrientes, reduciendo las pérdidas por volatilización y lixiviación, y asegurando un suministro sostenido para los cultivos (Tejada et al., 2025).

Un componente bioquímico clave en estos residuos es el perfil de aminoácidos resultante de la hidrólisis de las proteínas marinas; los residuos de pescado son ricos en ácido glutámico, glicina y alanina, compuestos que actúan como bioestimulantes directos al

ingresar al sistema edáfico. Estos aminoácidos no solo sirven como fuente inmediata de carbono y nitrógeno para el microbiota del suelo, sino que también facilitan la quelatación natural de micronutrientes metálicos, mejorando su absorción por las raíces en condiciones de pH desfavorables. Además, el contenido de lípidos y ácidos grasos poliinsaturados presentes en las vísceras aporta una fuente energética densa que dinamiza los ciclos biogeoquímicos (Vera et al., 2022; Tejada et al., 2025).

En cuanto a la fracción mineral, son una fuente primaria de fósforo y calcio; el fósforo en estos residuos se encuentra en formas orgánicas y minerales (como hidroxiapatita) que, tras la acción de microorganismos solubilizadores, se vuelven altamente asimilables para las plantas. Asimismo, el aporte de macronutrientes secundarios y micronutrientes es significativo; se han reportado niveles considerables de magnesio, potasio, zinc y hierro (Delgado et al., 2019). Esta riqueza multielemental permite que el residuo de pescado actúe como un fertilizante integral, capaz de corregir deficiencias nutricionales complejas mientras mejora simultáneamente la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Pérez-Porras et al., 2024).

c. Biofouling

El biofouling, también conocido como incrustaciones biológicas, se define como la acumulación indeseada de microorganismos, plantas, algas y animales (principalmente invertebrados marinos) sobre superficies sumergidas o en contacto con el agua de mar, tales como cascos de embarcaciones, redes de acuicultura e infraestructuras portuarias. (Abarzua y Jakubowski, 1995). Este fenómeno biológico representa un residuo masivo para la industria pesquera y acuícola que, tras su limpieza y remoción, genera una biomasa heterogénea con un alto potencial para la economía circular. El biofouling extraído de las mallas de cultivo de concha de abanico y otras estructuras constituye una fuente de materia orgánica y minerales que tradicionalmente ha sido subestimada (Eguía, 1999).

La composición química del biofouling es excepcionalmente compleja y diversa, debido a la variedad de organismos que lo integran, como cirrípedos (balanos), moluscos bivalvos, poliquetos y algas calcáreas. El rasgo distintivo de este residuo es su altísimo contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$), proveniente de las estructuras esqueléticas y valvas de los organismos incrustantes. Esta riqueza en carbonatos otorga al biofouling una capacidad neutralizante superior, actuando como una enmienda caliza natural que puede ayudar a estabilizar el pH y mejorar la estructura de suelos compactados o con desequilibrios iónicos (Pérez-Porras et al., 2024). Además de la fracción mineral, el biofouling contiene una proporción significativa de tejido blando rico en proteínas y carbohidratos, lo que garantiza un aporte complementario de nitrógeno orgánico al suelo (Chura, 2025).

d. El proceso de recuperación de suelos salinos mediante enmiendas orgánicas

La recuperación de suelos salinos a través de la aplicación de residuos hidrobiológicos se basa en un proceso sinérgico que combina la mejora de la estructura física con la alteración de la dinámica iónica. El primer mecanismo clave es el aumento de la porosidad y la conductividad hidráulica. Según Pérez-Porras et al. (2024), la materia orgánica aportada por el hidrolizado de pescado y el biofouling actúa como un agente estructurante que favorece la formación de macro agregados. Esta mejora estructural es fundamental, ya que permite que el agua de riego percole de manera más eficiente a través del perfil del suelo, arrastrando consigo las sales solubles (principalmente cloruros y sulfatos de sodio) hacia capas profundas fuera del alcance de las raíces, en un proceso conocido como lixiviación o lavado de sales.

En el ámbito químico, las enmiendas hidrobiológicas mitigan la salinidad mediante el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la quelatación de iones; los grupos funcionales de la materia orgánica y los aminoácidos presentes en el hidrolizado

pueden complejar iones nocivos, reduciendo su actividad fitotóxica en la solución del suelo (Chura, 2025). Asimismo, el calcio aportado por el biofouling juega un rol de reemplazo iónico crítico; el Ca^{2+} desplaza al sodio Na^{+} de los sitios de intercambio de los coloides, permitiendo que el sodio sea movilizado y lavado con mayor facilidad. Este intercambio no solo reduce el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), sino que previene la dispersión de las arcillas, manteniendo la estabilidad física del suelo necesaria para el drenaje (Pérez-Porras et al., 2024; Vera et al., 2022).

2.2.2. Caracterización de suelo

Desde una perspectiva agronómica y edafológica, el suelo es interpretado como un recurso natural finito cuya funcionalidad y salud dependen de un equilibrio delicado entre sus componentes. El suelo es un recurso cuya calidad se evalúa a través de la interacción de sus propiedades físicas, químicas y biológicas; bajo sistemas de agricultura intensiva, este equilibrio puede verse comprometido, lo que exige una gestión sostenible para evitar la degradación de su estructura y la pérdida de su capacidad productiva (Osuna-Ceja et al., 2024). Por lo tanto, el suelo actúa como un reactor biológico donde el microbiota desempeña un papel crucial en la transformación de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (Soto-Valenzuela et al., 2024).

En el contexto de la producción agrícola, la caracterización del suelo es imperativa para identificar las limitaciones inherentes a su formación o aquellas derivadas del manejo antrópico; la determinación de las propiedades edáficas permite establecer el diagnóstico de fertilidad y orientar las intervenciones necesarias para optimizar el rendimiento de los cultivos (Vera et al., 2022). El suelo se manifiesta entonces como un sistema trifásico donde la fase sólida (fracción mineral y orgánica) interactúa con la fase líquida (solución del suelo) y la fase gaseosa (aire edáfico), facilitando el intercambio iónico y la respiración radicular, elementos esenciales para el éxito de las enmiendas orgánicas

destinadas a la recuperación de suelos degradados o de baja fertilidad (Pérez-Porras et al., 2024).

a. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo constituyen el marco estructural que regula el movimiento del agua, el flujo de gases y el desarrollo del sistema radicular, influyendo directamente en la productividad agrícola. Estas características son, en gran medida, el resultado de la interacción entre la fracción mineral y el contenido de materia orgánica, determinando la capacidad del suelo para sostener los procesos biológicos (Gema et al., 2022). Entre las propiedades fundamentales se encuentra la textura, definida como la proporción relativa de las partículas minerales de arena, limo y arcilla; la textura es una propiedad básica que difícilmente se modifica en el corto plazo y que rige otras funciones críticas como la capacidad de intercambio catiónico, la retención de humedad y la aireación del perfil edáfico (Bazán, 2017).

Directamente relacionada con la textura se halla la estructura del suelo, la cual se refiere al arreglo u ordenamiento de las partículas primarias en agregados o terrones. Esta propiedad es dinámica y sensible al manejo agronómico; la incorporación de materia orgánica, como la proveniente de residuos biológicos, favorece la formación de agregados estables, lo que mejora la resistencia del suelo frente a la erosión y optimiza el espacio poroso (Fernández-Rodríguez et al., 2024). La estabilidad de estos agregados es un indicador clave de la salud del suelo, ya que una estructura bien desarrollada facilita la infiltración del agua y reduce los riesgos de encostramiento superficial (Osuna-Ceja et al., 2024).

Otra propiedad crítica es la densidad aparente, la cual relaciona la masa de suelo seco con su volumen total, incluyendo el espacio poroso. Esta medida es un indicador directo de la

compactación y la porosidad total del sistema. Los valores elevados de densidad aparente sugieren una reducción del espacio poroso, lo que limita la difusión del oxígeno y restringe el crecimiento de las raíces (Laínez-Vanegas et al., 2024). Por el contrario, la aplicación de enmiendas orgánicas tiende a reducir la densidad aparente, incrementando la porosidad y mejorando la capacidad de almacenamiento de agua, lo cual es vital en áreas cultivables con limitaciones hídricas (Quiroga y Bono, 2012).

Finalmente, el color del suelo y su régimen térmico completan el perfil físico. El color actúa como una herramienta de diagnóstico que permite inferir de manera cualitativa el contenido de materia orgánica, el estado de drenaje y la presencia de ciertos minerales (Gema et al., 2022). Un suelo oscuro generalmente se asocia con un mayor contenido de carbono orgánico y una mejor absorción de energía radiante, lo que influye en la temperatura del suelo y, por ende, en la velocidad de las reacciones químicas y la actividad microbiana (Chura, 2025). La comprensión integral de estos componentes físicos es esencial para evaluar el impacto del hidrolizado de pescado y el biofouling en la restauración de la funcionalidad del suelo en el Fundo Santa Rosa.

b. Propiedades químicas del suelo

Potencial de hidrógeno (pH). El potencial de hidrógeno (pH) es una medida crítica que indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución del suelo, definida técnicamente como el logaritmo negativo de la actividad de los iones de hidrógeno (H^+), el pH regula la solubilidad de los nutrientes y la actividad de los microorganismos, estableciendo las condiciones de habitabilidad para las raíces y el microbiota edáfico (Quiroga y Bono, 2012). En términos operativos, la escala de pH oscila entre 0 y 14, donde un valor de 7.0 se considera neutro; valores inferiores indican acidez, mientras que valores superiores señalan condiciones de alcalinidad o presencia de sales básicas, características comunes

en los suelos de las zonas áridas y semiáridas de la costa peruana (Pérez-Porras et al., 2024).

La relevancia del pH radica en su control directo sobre la biodisponibilidad de elementos esenciales para las plantas; la mayoría de los nutrientes, como el fósforo y los micronutrientes metálicos, presentan su máxima disponibilidad en un rango de pH ligeramente ácido a neutro (6,0 a 7,5) (Bazán, 2017). Fuera de este intervalo, el suelo puede presentar problemas de toxicidad por aluminio o manganeso en condiciones ácidas, o deficiencias inducidas por la precipitación de carbonatos y la formación de compuestos insolubles en medios alcalinos. Por tanto, el monitoreo del pH es fundamental para evaluar la eficacia de cualquier programa de fertilización o enmienda orgánica (Vera et al., 2022).

Conductividad Eléctrica (CE). La conductividad eléctrica (CE) es la propiedad físico-química que mide la capacidad del suelo para conducir la corriente eléctrica, funcionando como un indicador indirecto y proporcional de la concentración de sales solubles presentes en la solución edáfica; esta medición es esencial para diagnosticar el grado de salinidad de un terreno, ya que las sales actúan como electrolitos que facilitan el flujo de electrones a través de la fase líquida del suelo (Bazán, 2017). La CE se expresa generalmente en deciSiemens por metro (dS/m) a una temperatura de referencia de 25 °C, y su magnitud depende de la cantidad de iones disueltos, tales como cloruros, sulfatos, nitratos, sodio, calcio y magnesio (Pérez-Porras et al., 2024).

En el ámbito agronómico, la CE es un indicador crítico de la salud y productividad del suelo, debido a que niveles elevados de sales generan un estrés osmótico que afecta la capacidad de las plantas para absorber agua; a medida que aumenta la concentración de sales en la solución del suelo, el potencial osmótico se vuelve más negativo, obligando a la planta a realizar un mayor gasto energético para extraer la humedad necesaria (Gema

et al., 2022). Este fenómeno, conocido como sequía fisiológica, puede inhibir el crecimiento radicular y foliar, reduciendo significativamente los rendimientos. En regiones áridas y costeras, la acumulación de sales es un problema recurrente intensificado por las altas tasas de evaporación y el manejo del riego, lo que otorga a la CE una relevancia diagnóstica superior (Briseño-López et al., 2025).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una propiedad química fundamental que representa la medida total de las cargas negativas presentes en las superficies de los coloides del suelo (arcillas y materia orgánica), las cuales tienen la facultad de retener e intercambiar cationes, iones de carga positiva, con la solución del suelo. La CIC funciona como un reservorio dinámico de nutrientes esenciales para las plantas, tales como el calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^{+}) y amonio (NH_4^{+}), evitando que estos elementos se pierdan por lixiviación o lavado hacia capas profundas del perfil edáfico (Quiroga y Bono, 2012). Por tanto, un suelo con una CIC elevada posee una mayor capacidad de amortiguamiento y una fertilidad potencial superior en comparación con suelos de textura gruesa o pobres en materia orgánica (Bazán, 2017).

La magnitud de la CIC está estrechamente vinculada a la naturaleza y cantidad de los componentes coloidales. En los suelos de zonas áridas y costeras, la fracción mineral suele estar dominada por arenas y limos con baja reactividad, lo que delega a la materia orgánica un papel protagónico en la generación de sitios de intercambio. Al respecto, Gema et al. (2022) señalan que la materia orgánica puede aportar entre el 20% y el 90% de la CIC total de un suelo, debido a la presencia de grupos funcionales carboxílicos y fenólicos que se ionizan y generan cargas negativas. La incorporación de enmiendas orgánicas según Felles-Leandro et al. (2025) no solo aporta nutrientes directos, sino que

incrementa estructuralmente la capacidad del suelo para retener los fertilizantes aplicados.

Materia orgánica (MO). La materia orgánica (MO) del suelo representa un conjunto heterogéneo y dinámico de compuestos de origen biológico, que abarca desde residuos vegetales y animales frescos hasta productos de transformación microbiana altamente estables conocidos como humus; la MO es el componente más crítico para la salud edáfica, ya que influye de manera transversal en las propiedades físicas, químicas y biológicas, actuando como el principal reservorio de energía para el microbiota y como una fuente esencial de nitrógeno, fósforo y azufre (Quiroga y Bono, 2012). Su formación y persistencia en el suelo dependen de un equilibrio delicado entre las tasas de aporte de residuos y las tasas de mineralización o descomposición mediadas por los microorganismos (Mengel y Kirkby, 2000).

Desde el punto de vista físico y estructural, la MO desempeña un papel fundamental como agente cementante en la formación de agregados estables. El carbono orgánico actúa como un "pegamento" biológico que une las partículas de arena, limo y arcilla, mejorando significativamente la porosidad y la capacidad de retención de agua (Fernández-Rodríguez et al., 2024). Este efecto es particularmente vital en suelos de zonas costeras, donde la escasa estructura natural limita la productividad; la incorporación de materia orgánica incrementa la resiliencia del suelo ante la erosión y optimiza el régimen térmico edáfico, facilitando un entorno más propicio para el desarrollo radicular (Gema et al., 2022)

En términos químicos y biológicos, la MO es la principal responsable de la capacidad de amortiguamiento y del intercambio iónico en suelos con bajo contenido de arcilla; la MO contribuye al secuestro de carbono, mitigando el cambio climático y mejorando la fertilidad a largo plazo a través de la formación de complejos órgano minerales (Carbajal

et al., 2025). Además, funciona como un biorreactor que estimula la actividad enzimática y la diversidad microbiana, elementos necesarios para la solubilización de nutrientes que de otro modo permanecerían inaccesibles para las plantas (Osuna-Ceja et al., 2024).

Macronutrientes del suelo. Son elementos químicos esenciales que las plantas requieren en concentraciones relativamente elevadas para completar su ciclo biológico, participando en funciones estructurales, enzimáticas y energéticas. Estos se dividen convencionalmente en macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) y secundarios (calcio, magnesio y azufre) (Mengel y Kirkby, 2000). La disponibilidad de estos elementos en el suelo no solo depende de su presencia absoluta, sino de factores como el pH, la humedad y la actividad microbiana, los cuales regulan su paso de formas orgánicas o minerales complejas a formas iónicas solubles absorbibles por las raíces. En suelos agrícolas con manejo intensivo, la reposición de estos nutrientes a través de enmiendas es vital para evitar el agotamiento de la fertilidad natural (Quiroga y Bono, 2012).

El nitrógeno (N) es considerado el macronutriente de mayor impacto en el rendimiento agrícola, siendo un componente fundamental de proteínas, clorofila y ácidos nucleicos. Su dinámica es altamente compleja debido a su movilidad y a los constantes procesos de transformación biológica como la mineralización, nitrificación y desnitrificación. Por otro lado, el fósforo (P) desempeña un papel crucial en la transferencia de energía (ATP) y el desarrollo radicular; sin embargo, su disponibilidad suele ser limitada por procesos de fijación en suelos con pH extremos (Gema et al., 2022). El potasio (K), a diferencia de los anteriores, no forma parte de estructuras orgánicas permanentes, pero actúa como un regulador osmótico esencial y activador de más de 60 sistemas enzimáticos, influyendo directamente en la resistencia de la planta al estrés hídrico y salino (Soto-Valenzuela et al., 2024).

En cuanto a los macronutrientes secundarios, el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) son determinantes tanto para la nutrición vegetal como para la estabilidad física del suelo. El calcio es un componente estructural de las paredes celulares y actúa como un regulador del crecimiento, mientras que el magnesio es el átomo central de la molécula de clorofila, siendo indispensable para la fotosíntesis (Vera et al., 2022). Además, en suelos de la costa peruana, el balance de estos cationes es fundamental para contrarrestar los efectos negativos del sodio. El azufre (S), por su parte, es necesario para la síntesis de aminoácidos esenciales y vitaminas, y su deficiencia se ha vuelto más común debido a la intensificación de los cultivos y la reducción de las emisiones atmosféricas (Quiroga y Bono, 2012).

Micronutrientes del suelo. Los micronutrientes, también denominados elementos menores o traza, son nutrientes esenciales requeridos por las plantas en cantidades muy pequeñas, generalmente medidas en partes por millón (ppm), pero cuya función es indispensable para el metabolismo celular. Este grupo incluye principalmente al hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). estos elementos actúan mayoritariamente como cofactores enzimáticos y catalizadores en procesos vitales como la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de proteínas (Bazán, 2017; Mengel y Kirkby, 2000). A diferencia de los macronutrientes, el rango entre la suficiencia y la toxicidad de los micronutrientes es muy estrecho, por lo que su gestión requiere un conocimiento preciso de las condiciones del suelo, especialmente del pH, que es el factor que más influye en su solubilidad (Quiroga y Bono, 2012).

La disponibilidad de micronutrientes metálicos como el hierro, el zinc y el manganeso tiende a disminuir drásticamente en suelos con pH alcalino, condición frecuente en las zonas áridas del litoral peruano. En estos entornos, elementos como el hierro y el zinc precipitan en formas insolubles, limitando la síntesis de clorofila y provocando clorosis

que reduce el vigor de la planta (Gema et al., 2022). Por otro lado, el boro es un micronutriente no metálico esencial para la integridad de las paredes celulares y el crecimiento de los tubos polínicos; sin embargo, es altamente móvil y propenso a lixiviarse en suelos de textura arenosa, o a quedar retenido en exceso en suelos con altos contenidos de carbonatos (Soto-Valenzuela et al., 2024).

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del experimento

La ejecución del proyecto de investigación se realizó en el área cultivable del Fundo “Santa Rosa” propiedad de la Universidad Nacional del Santa, ubicado en el Centro Poblado Santa Rosa, distrito de Santa, provincia del Santa, región Ancash, encontrándose en la siguiente ubicación geográfica:

Latitud: 8° 59’ 50’ Sur

Longitud: 78° 37’ 09’’ Oeste

Altitud: 18 msnm

Figura 1

Ubicaciòn del Fundo "Santa Rosa"



Nota. Google Earth Pro (2024)

El clima de Santa es cálido y relativamente nublado. A lo largo del año, las temperaturas varían desde los 14 °C a los 24 °C, presentando muy pocas veces temperaturas menores a 13 °C o mayores de 27 °C.

3.2. Enfoque

Se desarrolló a partir de un enfoque metodológico de tipo cuantitativo; concebido según la perspectiva de Hernández-Sampieri y Mendoza (2023) como una estrategia de investigación que busca interpretar realidades sociales y personales de forma sistemática, que se hace mediante un proceso de medición objetiva de variables y un tratamiento matemático de la información; se caracteriza por la obtención sistemática de mediciones estandarizadas que permiten representar fenómenos complejos a través de indicadores expresados numéricamente, y por lo tanto permitir aplicar técnicas estadísticas avanzadas para el examen de relaciones entre variables y verificaciones de supuestos teóricos.

3.3. Diseño de investigación

En el desarrollo del estudio se utilizó el diseño experimental; específicamente el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Este diseño incluyó 4 tratamientos (incluido en testigo), cada uno de los cuales se repitió 4 veces (Bloques), haciendo un total de 16 unidades experimentales. Basados en Fernández et al. (2010), el modelo aditivo lineal estuvo representado mediante la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{Yij} = \mu + \boldsymbol{ti} + \boldsymbol{\beta j} + \boldsymbol{eij}$$

Dónde:

- Yij = unidad experimental que recibe el tratamiento i en el bloque j
- μ = media general a la cual se espera alcanzar todas las observaciones (media poblacional)
- ti = Efecto verdadero del i - ésimo tratamiento
- βj = Efecto verdadero del j - ésimo bloque

- *eij* = Error experimental

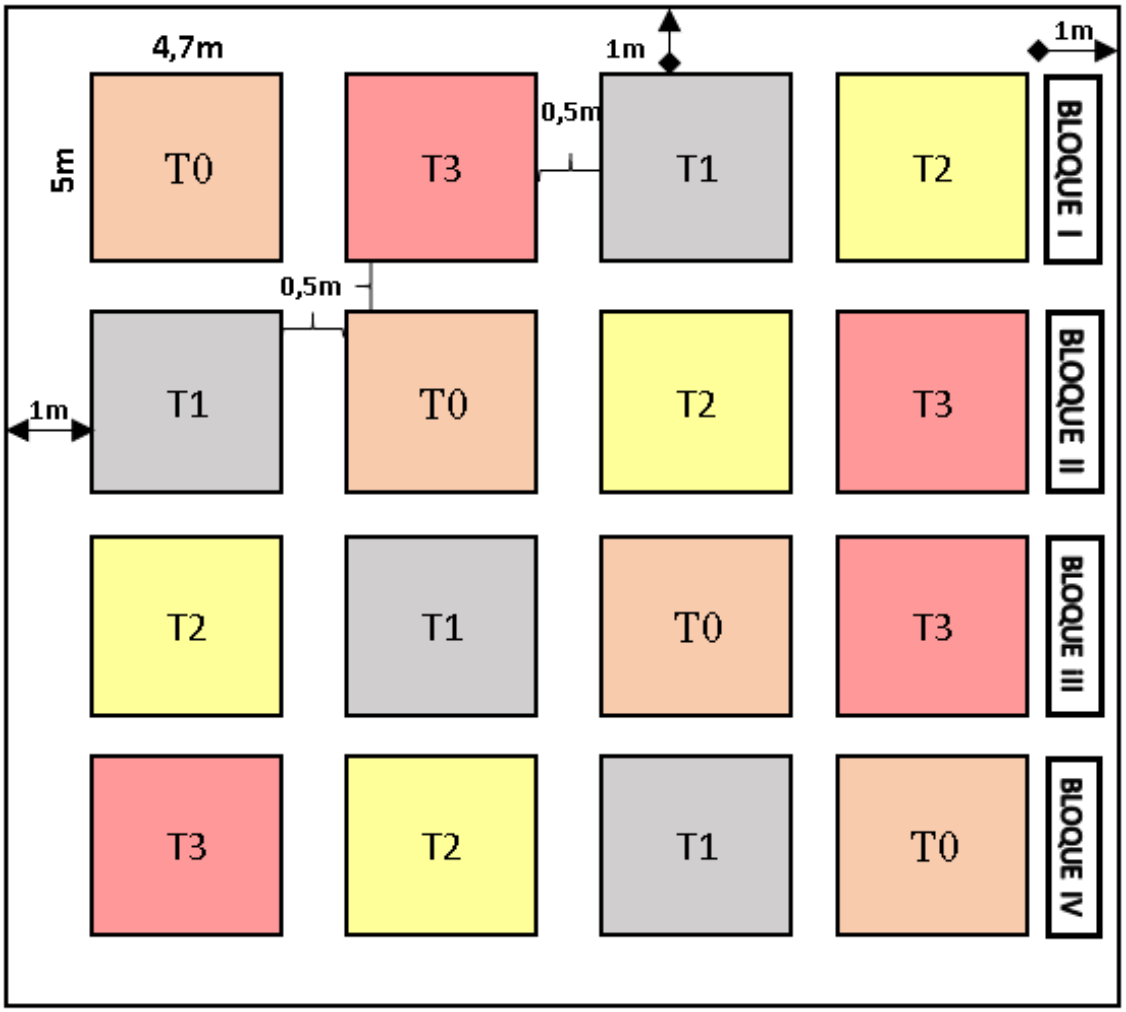
Tabla 1

Tratamientos en estudio

Tratamiento	Fuentes de residuos hidrobiológicos	Dosis
T0	Testigo	---
T1	Residuos de pescado	10 t/ha
T2	Biofouling	10 t/ha
T3	50% Residuos de pescado + 50% Biofouling	10 t/Ha

Figura 2

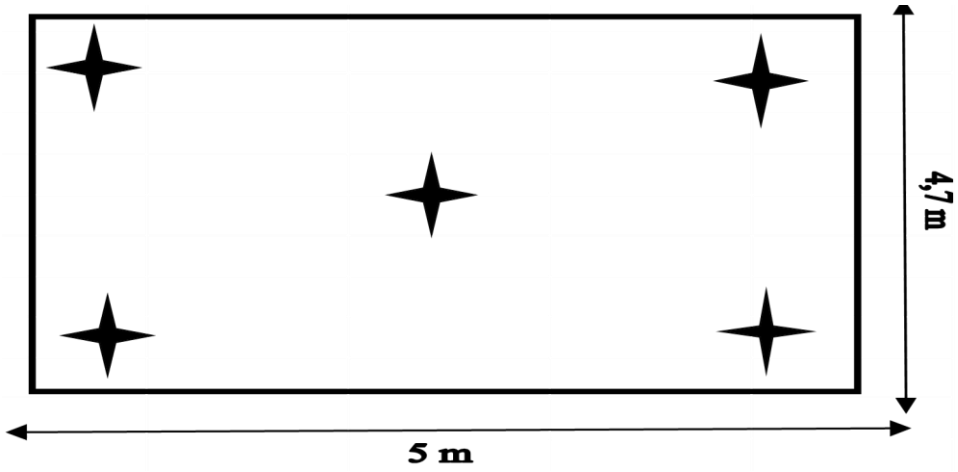
Croquis del àrea experimental



Nota. Elaboraciòn propia.

Figura 3

Unidad experimental con un muestreo en "X" (Cinco de oros)



Nota. Elaboraciòn propia.

3.4. Población

Considerando la definición de Rivero et al. (2021) la población "se define como el conjunto de individuos, elementos u objetos que albergan la información necesaria para el investigador y sobre los cuales se realizarán inferencias" (p. 69). En el presente estudio la población fue el suelo que conforma el campo experimental (524,05m2) siendo un área cultivable del fundo Santa Rosa.

3.5. Muestra

Según lo indicado por Paragua et al. (2022), una muestra se define como "un conjunto de individuos o elementos extraído de la población mediante un procedimiento de muestreo apropiado" (p. 44). Por consiguiente, la muestra utilizada en la investigación estuvo compuesta por 1 kg de suelo por cada unidad experimental.

Para la evaluación de las propiedades químicas del suelo, se empleó un muestreo probabilístico de tipo sistemático. En cada unidad experimental, se aplicó un patrón de muestreo en "X" (Cinco de oros) para recolectar submuestras a una profundidad de 25

cm, las cuales fueron homogeneizadas para conformar una muestra compuesta representativa por tratamiento y repetición (Prialé, 2017; Pérez-Porras et al., 2024).

3.6. Operacionalización de las variables

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Técnicas e instrumentos
Dependiente: Mejoramiento del suelo	Proceso que abarca un conjunto de técnicas que permite modificar las propiedades del suelo para que sea más fértil y apto para los cultivos.	Analizar las características fisicoquímicas del suelo.	Suelo	Propiedades físicas	%	Técnica: Observación Instrumento: Análisis de suelo
				Propiedades químicas	mS/m meq/100 g mg/kg	
Independiente: Residuos hidrobiológicos	Se definen como aquellos materiales, restos o subproductos orgánicos que provienen de la captura, extracción, procesamiento y comercialización de recursos hidrobiológicos, incluyendo pescados, moluscos, crustáceos y algas (Vera et al., 2022).	Se emplearon residuos de pescado y Biofouling para la.	Enmiendas orgánicas a base de residuos hidrobiológicos	Biofouling	10 Tn/ha	
				Residuos de pescado	10 Tn/ha	

3.7. Procedimiento

Preparaciòn del terreno. Para la preparaciòn de terreno se realizò`un riego machaco al dìa siguiente se removiò la tierra con rufa agrìcola y luego se empleò la surcadora agrìcola para realizar los surcos.

Figura 4

Riego machaco



Nota. Fotografìa de riego machaco, 2025.

Delimitación del área del experimento. El área donde se desarrolló el experimento fue delimitada siguiendo el croquis establecido ocupando un área total de 524,05m2 considerando los caminos y calles. Asimismo, se utilizará rafia color rojo y marcador indeleble color negro para marcar cada unidad experimental, tanto bloque como las repeticiones.

Figura 5

Delimitaciòn y marcado del àrea experimental



Nota. Fotografìas de elaboraciòn propia.

Riego. Los riegos se realizaron 3 veces por semana con la intenciòn de que el suelo se encuentre a capacidad de campo de ese modo el abono que se aplicò se pudo ir descomponiendo logrando la disoluciòn y transporte de nutrientes a la soluciòn suelo.

Desmalezado. Por efecto del riego emergieron malezas en el campo experimental las cuales pudieron absorver los nutrientres del abono aplicado por ello se desmalezò, el desmalezado se realizò de forma manual.

Figura 6

Desmalezado manual

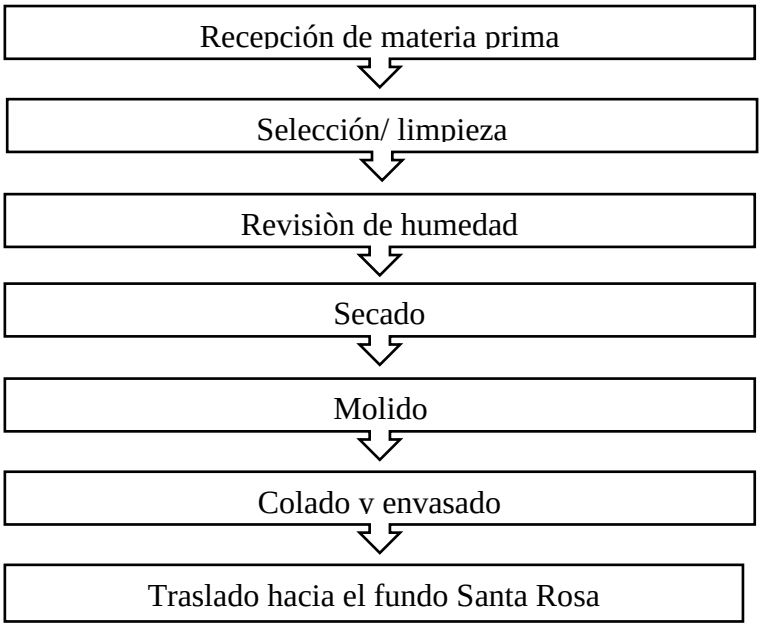


Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Preparación de enmiendas orgánicas. Esta actividad se realizó dentro de las instalaciones de la empresa AGRO INNO TECH SAC, la cual nos brindaron los insumos siendo los residuos de pescado compuesto por especies como Caballa (*Scomber scombrus*), Jurel (*Trachurus murphy*) y Bonito (sarda sarda) y el biofouling el cual fue transportada desde DON FERNANDO S.A.C. donde se descargó 8 toneladas de desechos de pescado, así mismo nos proporcionaron las herramientas dentro del establecimiento para la elaboración de las enmiendas tal y como se detalla en la figura 7.

Figura 7

Diagrama de flujo de la elaboración de las enmiendas orgánicas



Nota. Elaboraciòn propia.

Recepciòn de materia prima. El biofouling es proveniente de la zona de Huambacho se traslado semihumedo en sacos y los residuos de pescado se traslado en un volquete la textura es acuosa se descarga sobre mantas para su respectivo secado.

Selecciòn y limpieza. Tanto el residuo de pescado como el biofouling pueden venir con restos ajenos por lo cual se seleccionò y retiro para continuar con su secado.

Revisiòn de humedad. Durante el secado se revisò la humedad mediante tacto para determinar si ya se secò completamente en el caso del abono a base de residuo de pescado revisar en la parte central de los terrones y en el biofouling se revisò la parte central del conglomerado de biofouling.

Figura 8

Revisiòn de humedad de los residuos de pescado



Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Secado. Consistiò en la exposiciòn de los residuos de pescado y biofouling al aire libre mediante el cual iba perdiendo su humedad contenida lo cual durò 10 dìas.

Figura 9

Secado de residuos de pescado y biofouling



Nota. Fotografìas de elaboraciòn propia.

Molido. Posterior al secado se traslado en un balde de 25 L hacia el molino y se fue agregando de a pocos para que esta sea molida.

Figura 10

Incorporaciòn de biofouling al molino (Molido)



Nota. Fotografìas de elaboraciòn propia.

Colado y envasado. Para lograr una textura mas fina se tamizò con una malla delgada y llenaba a sacos de 50 kg.

Figura 11

Envasado del abono de residuos de pescado



Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Traslado al Fundo Santa Rosa. El abono de residuos de pescado y biofouling fueron trasladados en sacos de 50 Kg ambos rotulados para su identificaciòn al momento de aplicar a campo.

Extracción de muestra y análisis de suelo. El proceso de recolección de datos edáficos se dividió en dos fases: la determinación de la línea base y la evaluación del efecto de los tratamientos. Inicialmente, se recolectó una muestra compuesta representativa de la totalidad del área experimental para caracterizar las condiciones físico-químicas preexistentes. Para ello, se empleó un muestreo probabilístico con un patrón sistemático de "cinco de oros" (en X), técnica que asegura una cobertura uniforme de la superficie y minimiza el sesgo del investigador. En cada punto de muestreo, se excavó una calicata de 30 cm x 30 cm a una profundidad de 25 cm, extrayendo submuestras que fueron homogeneizadas para obtener un diagnóstico integral del suelo antes de la intervención.

Treinta días después de la aplicación de las enmiendas hidrobiológicas (hidrolizado de pescado y biofouling), se realizó un segundo muestreo dirigido a cada unidad experimental. En esta etapa, se recolectaron cinco submuestras por parcela siguiendo el mismo patrón sistemático. Siguiendo el protocolo técnico de Prialé (2017) las submuestras de cada unidad fueron agrupadas y sometidas al método de cuarteo para garantizar la representatividad de la muestra final. Este procedimiento permitió obtener una muestra compuesta de 1 kg por cada unidad experimental, las cuales fueron debidamente rotuladas y enviadas al Laboratorio para su análisis físico-químico.

Figura 12

Extracciòn de muestra de suelo

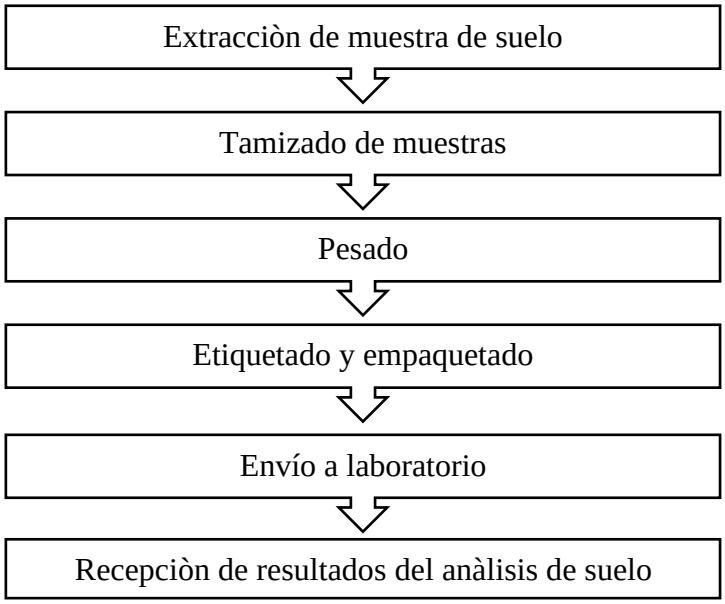


Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Para el anàlisis de suelo se empleò el siguiente esquema:

Figura 13

Diagrama de flujo del anàlisis de suelo



Nota. Elaboraciòn propia.

Tamizado de muestra de suelo. La muestra de suelo extraida se procediò a tamizar con un colador metalico lo que permitiò obtener una muestra màs fina y dejar de lado los terrones.

Figura 14

Tamizado de muestra de suelo



Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Pesado. Luego de tamizar las muestras, en una balanza se pesaron cada paquete de muestras conenido en una bolsa de ziploc logrando enviar 1 Kg de muestra de suelo.

Figura 15

Pesado de muestra de suelo



Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Etiquetado y empaquetado. Cada paquete de muestra de 1 kg de suelo contenido en bolsa ziploc se rotulò con todos los datos correspondientes a cada muestra para el procesamiento en laboratorio: Nombre de la muestra, Lugar de la toma de muestra, Muestreador, Fecha y hora de la toma de muestra y observaciòn; se empaqueto en una caja de cartòn y enviò a laboratorio Anoba Lab.

Figura 16

Paquetes de muestras de suelo rotuladas



Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Envìo a laboratorio. La caja con muestras se embalò, se rotulò con los datos del remitente y destinatario. Luego, mediante una agencia de envios se enviò al laboratorio Anoba Lab para el procesamiento de las muestras.

Figura 17

Caja contenida con muestras de suelo



Nota. Fotografìa de elaboraciòn propia.

Recepciòn de resultados. 7 dìas despuès de la recepciòn de muestras el laboratorio emitiò los resultados mediante correo en formato pdf cada informe con los resultados correspondientes.

Figura 18

Informe de laboratorio con los resultados de anàlisis de suelo

ANOBA
Soluciones Analíticas & Consultoría

CERTIFICACIÓN ISO 9001:2015
SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD
N° ER-0608-24

INFORME DE ENSAYO IESA6581

INFORMACION GENERAL

CLIENTE	RUTH MIRELI SANTOS JAQUE	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	Fundo Santa Rosa
DIRECCIÓN	Ampliación "La Molina" Mz B Lt 05 - Santa	CULTIVO	-
RUC	70127042	MUESTREADO POR	Ruth Santos Jaque
ENSAYOS SOLICITADOS	Análisis de Caracterización Completa	FECHA Y HORA DE MUESTREO	06/07/25 08:47
CONTACTO	-	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Muestra en bolsa plástica, 1 Kg.
MATRIZ	Suelo	FECHA DE RECEPCIÓN	15/07/2025
COTIZACIÓN DEL SERVICIO	COT_250271	FECHA DE INICIO DE ENSAYO	15/07/2025
ID ANOBA	SA256581	FECHA FIN DE ENSAYO	25/07/2025
		ID MUESTRA	Muestra de Suelo

PROYECTO "Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa"

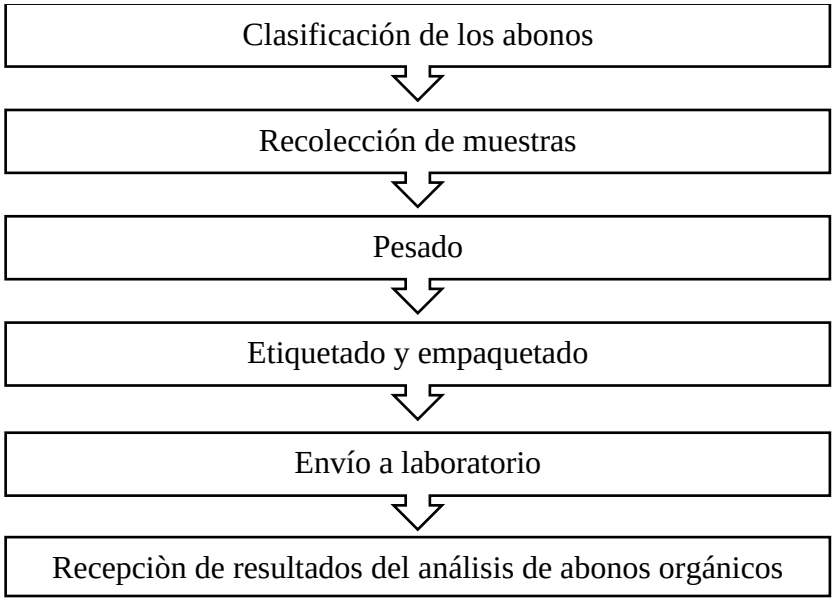
RESULTADO DE ANÁLISIS

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	LC	RESULTADO	METODOLOGÍA
FISICOQUÍMICOS					
Arena	-	%	1.00	30.00	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.3.9 AS-09 Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.
Arcilla	-	%	1.00	29.60	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.3.9 AS-09 Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.
Limo	-	%	1.00	40.40	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.3.9 AS-09 Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.
Clase Textural	-	-	-	Franco arcilloso	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.3.9 AS-09 Determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos.
Carbonatos	($CaCO_3$)	%$CaCO_3$	0.05	0.90	NOM-021-SEMARNAT -2000 7.3.25 AS-29 Determinación de carbonatos en suelos.
MACRONUTRIENTES					
Potasio Disponible	(K)	mg/Kg	2.00	44.80	ME-SA-32 Determinación de Bases en Suelos Rev. 01 Año 2023
Fósforo Disponible	(P)	mg/Kg	0.50	12.24	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.1.10 AS-10 Determinación de fósforo aprovechable por el procedimiento Olsen.
Nitrógeno	(N)	mg/Kg	40.00	686.88	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.3.17 AS-25 Determinacion de Nitrogeno por el metodo de Kjeldahl.
BASES INTERCAMBIABLES					
Calcio de Cambio	(Ca)	meq/100g	0.03	8.03	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.1.12 AS-12,7.1.13 AS-13 Capacidad de intercambio Catíonicos y Cationes Intercambiables.
Magnesio de Cambio	(Mg)	meq/100g	0.01	1.23	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.1.12 AS-12,7.1.13 AS-13 Capacidad de intercambio Catíonicos y Cationes Intercambiables.
Sodio de Cambio	(Na)	meq/100g	0.01	0.06	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.1.12 AS-12,7.1.13 AS-13 Capacidad de intercambio Catíonicos y Cationes Intercambiables.
Potasio de Cambio	(K)	meq/100g	0.02	0.08	NOM-021-SEMARNAT -2000 2da edición. 7.1.12 AS-12,7.1.13 AS-13 Capacidad de intercambio Catíonicos y Cationes Intercambiables.
BASES DISPONIBLES					
Calcio Disponible	(Ca)	mg/Kg	20.00	1988.50	ME-SA-32 Determinación de Bases en Suelos Rev. 01 Año 2023
Magnesio Disponible	(Mg)	mg/Kg	2.50	191.50	ME-SA-32 Determinación de Bases en Suelos Rev. 01 Año 2023
Sodio Disponible	(Na)	mg/Kg	2.50	71.80	ME-SA-32 Determinación de Bases en Suelos Rev. 01 Año 2023
MICRONUTRIENTES					

Análisis de los residuos hidrobiológicos. Luego que obtuvimos las enmiendas a base de residuos de pescado y biofouling de la empresa AGRO INNO TECH, se envió 1 kg de cada una al laboratorio con la finalidad de conocer sus características físico-químicas de cada una respectivamente, el procedimiento se detalla en la figura 16.

Figura 19

Diagrama de flujo para anàlisis de enmiendas orgànicas



Nota. Elaboraciòn propia.

Recepciòn de resultados del anàlisis de abonos orgànicos. Despuès de 7 dìas desde el envìo de muestras a laboratorio Anoba Lab este emitiò un informe con los resultados correspondiente a cada abono a base de residuos de pescado y biofouling las cuales estan adjuntas en la tabla 3.

Tabla 3

Caracterización físico-química de los residuos hidrobiológicos

Dimensión	Parámetro	Unidad	Residuo de Pescado	Biofouling
Indicadores de Estabilidad	Ph	-	5,92	6,73
	CE	dS/m	0,406	1,827
	M.O. Total	%	56,64	45,05
	Humedad	%	3,77	10,13
	Relación C/N	C/N	8,78	4,3
Macronutrientes	Nitrógeno Total (N)	%	3,74	6,08
	Fósforo Total (P_2O_5)	%	0,83	5,97
	Potasio Total (K_2O)	%	0,12	0,28
Nutrientes Secundarios	Calcio Total (CaO)	%	6,16	18,24
	Magnesio Total (MgO)	%	3,31	0,93
Micronutrientes	Hierro Total (Fe)	mg/kg	7601	6358
	Zinc Total (Zn)	mg/kg	196,45	96,52
	Manganeso Total (Mn)	mg/kg	93,78	96,52
	Boro Total (B)	mg/kg	64,62	56,88
	Cobre Total (Cu)	mg/kg	47,38	18,91
Elementos Fitotóxicos	Sodio Total (Na)	g/100g	2094,77	10348,26
	Cloruros (Cl^-)	g/100g	5237,9	26991,63

La caracterización físico-química de los residuos analizados revela un alto potencial para la restauración edáfica en el Fundo Santa Rosa, destacando por sus elevados contenidos de materia orgánica (>45%) y nitrógeno total. El residuo de pescado presenta una relación C/N de 8,78, lo que asegura una mineralización equilibrada y una estabilidad superior para la mejora de la estructura del suelo; por su parte, el biofouling se distingue por su excepcional aporte de calcio (18,24% de CaO) y fósforo (5,97%), elementos críticos para el desplazamiento del sodio y el fortalecimiento radicular en entornos degradados. Sin embargo, la elevada conductividad eléctrica (18,27 dS/m) y la alta concentración de cloruros en el biofouling imponen una gestión técnica cuidadosa, orientando su uso hacia

una aplicación controlada que aproveche su capacidad de reemplazo iónico sin comprometer el balance osmótico del sistema suelo-planta.

Incorporaciòn de abono. La incorporaciòn del abono se realizò de forma manual con apoyo de una palana para aperturar el surco a una profundidad de 30 cm, ya se tenia el abono pesado en bolsas con la dosis correspondiente y se procediò aplicar con la mano a chorro continuo.

Figura 20

Incorporaciòn de abono a base de residuos de pescado.



Nota. Elaboraciòn propia.

3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.8.1. Técnicas

En el contexto de este estudio, se llevó a cabo la técnica de observación con el fin de recopilar información relacionada con la variable dependiente. De acuerdo con lo expuesto por Arias (2020), esta metodología “implica la captura sistemática y objetiva de información mediante el registro de fenómenos, eventos o comportamientos en su contexto real” (p. 27).

3.8.2. Instrumentos

Se utilizó como instrumento principal el análisis de suelo, las cuales fueron elaboradas para registrar de forma estandarizada los indicadores evaluados, incluyendo las características físicas y químicas del suelo. Asimismo, se empleó un cuaderno de campo para registrar observaciones adicionales que no estaban contempladas en las fichas, como, por ejemplo, condiciones ambientales inusuales. Este instrumento, apoyado por Arias (2020), ofreció la versatilidad requerida para la recolección de datos cuantitativos y contextuales, lo que enriqueció considerablemente el análisis.

3.9. Técnicas de análisis de resultados

Se utilizaron análisis descriptivos e inferenciales para analizar los datos, los cuales fueron procesados mediante el software estadístico Infostat. Según la descripción de Quesada et al. (2018), la estadística descriptiva "consiste en organizar y clasificar los datos cuantitativos obtenidos durante el periodo de medición" (p. 30). En este sentido, el estudio utilizó detalladas tablas considerando cuidadosamente las proporciones medias de los diferentes tratamientos aplicados en el experimento.

Según la explicación de Ñaupas et al. (2018), el "análisis inferencial es un elemento esencial dentro del ámbito más amplio de la estadística. Su objetivo principal consiste en obtener inferencias y generalizar las características observadas a la población completa" (p. 430). Para verificar las hipótesis planteadas, se llevó a cabo el análisis de la varianza (ANVA) después de confirmar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas. Además, se empleó la prueba de Duncan con un margen de error de 0,05 para realizar comparaciones de medias entre los diferentes tratamientos del ensayo.

Tabla 4

Esquema de Análisis de Varianza (DBCA)

Fuente de Variación	gl	SC	CM	F
Bloques (r)	r-1	SCB	CMB	CMB/CME
Tratamientos (t)	t-1	SCTR	CMTR	CMTR/CME
Error	(r-1) (t-1)	SCE	CME	
Total	tr-1	SCT		

Nota. Elaborado en base a Fernández et al. (2010)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Características del suelo antes de la aplicación de los tratamientos

Tabla 5

Características físicas del suelo antes de la aplicación de los residuos hidrobiológicos

Componentes	Porcentaje	Clase textural
Arena	30,0%	Franco arcilloso
Arcilla	29,6%	
Limo	40,4%	

Las características físicas iniciales del suelo en el área experimental según la Tabla 5; presentan una clase textural franco arcillosa. Esta clasificación responde a una composición granulométrica integrada por un 40,4% de limo, un 30,0% de arena y un 29,6% de arcilla. Estos valores definen un suelo con una predominancia de la fracción limosa sobre los componentes de arena y arcilla.

Tabla 6

Características químicas (pH, CE, M.O., equilibrio catiónico) antes de los tratamientos

Componente	Unidad	Resultados
Indicadores de reacción y estado salino		
pH	--------	7,90
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	0,2920
Fracción orgánica		
Materia orgánica (M.O.)	%	1,80
Complejo de cambio y equilibrio catiónico		
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)	meq/100g	9,40
Calcio de cambio (Ca)	meq/100g	8,03
Magnesio de cambio (Mg)	meq/100g	1,23
Sodio de cambio (Na)	meq/100g	0,06
Potasio de cambio (K)	meq/100g	0,08

Según la Tabla 6; la caracterización química inicial del suelo evidencia una reacción ligeramente alcalina con un pH de 7,90 y una condición de salinidad baja reflejada en una conductividad eléctrica de 0,2920 dS/m. La fracción orgánica se encuentra en un nivel bajo con un 1,80% de materia orgánica. En el complejo de cambio, la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) alcanzó los 9,40 meq/100g, con un equilibrio catiónico liderado por el calcio (8,03 meq/100g), seguido en menor proporción por el magnesio (1,23 meq/100g), potasio (0,08 meq/100g) y sodio (0,06 meq/100g)

Tabla 7

Características químicas del suelo (Macro y micronutrientes) antes de los tratamientos

Componente	Unidad	Resultados
Macronutrientes		
Nitrógeno (N)	mg/Kg	686,88
Fósforo disponible (P)	mg/Kg	12,24
Potasio disponible (K)	mg/Kg	44,80
Calcio disponible (Ca)	mg/Kg	1988,50

Magnesio Disponible (Mg)	mg/Kg	191,50
Micronutrientes		
Cobre disponible (Cu)	mg/Kg	4,96
Zinc disponible (Zn)	mg/Kg	6,08
Manganeso disponible (Mn)	mg/Kg	18,90
Hierro disponible (Fe)	mg/Kg	14,90
Boro disponible (B)	mg/Kg	0,56

Según la Tabla 7; el diagnóstico químico inicial de macro y micronutrientes en el suelo reveló una concentración de nitrógeno de 686,88 mg/Kg y un nivel de fósforo disponible de 12,24 mg/Kg. El potasio disponible registró 44,80 mg/Kg, mientras que el calcio y magnesio alcanzaron valores de 1988,50 mg/Kg y 191,50 mg/Kg, respectivamente. En cuanto a los micronutrientes, se identificaron niveles de cobre (4,96 mg/Kg), zinc (6,08 mg/Kg), manganeso (18,90 mg/Kg), hierro (14,90 mg/Kg) y boro (0,56 mg/Kg), los cuales completan el estado nutricional base del área cultivable en el Fundo Santa Rosa previo a la intervención con los residuos hidrobiológicos.

4.1.2. Características del suelo después de la aplicación de los tratamientos

Tabla 8

Características físicas del suelo después de la aplicación de los tratamientos

Tratamiento	**Resultados**			
	Arena	**Arcilla**	**Limo**	**Clase textural**
T1 (Residuos de pescado)	34,50%	26,20%	39,25%	Franco
T2 (Biofouling)	32,00%	28,20%	39,35%	Franco arcilloso
T3 (50% RP + 50% Biofouling)	32,25%	24,45%	43,14%	Franco
T0 (Sin aplicación)	36,25%	24,95%	39,23%	Franco

Nota. RP= Residuos de pescado

Tras la intervención experimental, según la Tabla 8; el suelo del tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó una composición granulométrica de 34,50% de arena, 26,20% de arcilla y 39,25% de limo, resultando en una clase textural franca. Por su parte, el tratamiento T2 (Biofouling) registró un 32,00% de arena, 28,20% de arcilla y 39,35% de limo, manteniendo la clasificación de franco arcilloso. El tratamiento mixto T3 (50% RP + 50% Biofouling) reportó valores de 32,25% de arena, 24,45% de arcilla y un predominio de limo con 43,14%, situándose en la clase franca. Finalmente, el control T0 exhibió un 36,25% de arena, 24,95% de arcilla y 39,23% de limo, clasificándose también como suelo franco.

Tabla 9

Características químicas del suelo (pH, CE, M.O., equilibrio catiónico) después de la aplicación de los tratamientos

Componente	Unidad	Resultados			
		T1	**T2**	**T3**	**T0**
Indicadores de reacción y estado salino					
pH		7,68	7,46	7,69	8,04
Conductividad Eléctrica (CE)	dS/m	0,3083	0,4433	0,375	0,2908
Fracción orgánica					
Materia orgánica (M.O.)	%	3,10	2,60	2,83	1,82
Complejo de cambio y equilibrio catiónico					
Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)	meq/100g	18,75	18,37	18,74	14,69
Calcio de cambio (Ca)	meq/100g	17,11	16,41	16,85	12,96
Magnesio de cambio (Mg)	meq/100g	1,55	1,75	1,78	1,51
Sodio de cambio (Na)	meq/100g	0,06	0,08	0,05	0,06
Potasio de cambio (K)	meq/100g	0,13	0,14	0,06	0,13

La evaluación química posterior a los tratamientos según la Tabla 9; evidenció una reducción del pH en todas las parcelas con enmiendas respecto al control (T0: 8,04), siendo el tratamiento T2 el que alcanzó el valor más bajo con 7,46. No obstante, la conductividad eléctrica (CE) mostró un incremento en los grupos tratados, especialmente en T2 (0,4433 dS/m) y T3 (0,3750 dS/m), en comparación con el testigo (0,2908 dS/m). La materia orgánica (M.O.) mejoró significativamente en todos los casos, destacando el T1 con un 3,10% frente al 1,82% de T0. Finalmente, se registró

un aumento notable en la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y el calcio de cambio, con valores máximos en T1 (18,75 meq/100g y 17,11 meq/100g, respectivamente), lo que refleja una dinamización del complejo de cambio en relación con el control.

Tabla 10

Características químicas del suelo (Macro y micronutrientes) después de tratamientos

Componente	Unidad	Resultados			
		T1	T2	T3	T0
Macronutrientes					
Nitrógeno (N)	mg/Kg	1592,90	1297,44	1396,28	896,19
Fósforo disponible (P)	mg/Kg	44,81	102,28	85,26	21,40
Potasio disponible (K)	mg/Kg	102,88	94,93	94,83	81,57
Calcio disponible (Ca)	mg/Kg	3515,90	3848,25	5214,25	3827,00
Magnesio disponible (Mg)	mg/Kg	246,73	278,75	288,28	242,20
Micronutrientes					
Cobre disponible (Cu)	mg/Kg	5,42	5,55	5,41	6,07
Zinc disponible (Zn)	mg/Kg	12,06	8,69	9,66	5,36
Manganeso disponible (Mn)	mg/Kg	40,96	16,01	33,01	15,40
Hierro disponible (Fe)	mg/Kg	29,51	25,87	25,58	15,34
Boro disponible (B)	mg/Kg	1,00	1,05	1,18	0,96

Tras la aplicación de los tratamientos, según Tabla 10; se observó un incremento generalizado en la disponibilidad de macronutrientes respecto al control (T0), destacando el tratamiento T1 por alcanzar la mayor concentración de nitrógeno (1592,90 mg/Kg) y el T2 por el valor más alto de fósforo disponible (102,28 mg/Kg). Asimismo, el tratamiento T3 registró la mayor acumulación de calcio (5214,25 mg/Kg) y magnesio (288,28 mg/Kg), evidenciando una sinergia nutritiva entre ambas enmiendas. En cuanto a los micronutrientes, se identificó un aumento notable en los niveles de zinc, manganeso y hierro en comparación con el testigo, lo que consolida una mejora significativa en la fertilidad química integral del suelo mediante el empleo de estos residuos hidrobiológicos.

4.1.3. Efecto de los residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo

a. Efecto de los residuos hidrobiológicos en características físicas del suelo

Tabla 11

ANVA para características físicas del suelo según tratamientos

	F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
a)	Bloque	4,50	3	1,5	0,42	0,742
	Tratamiento	48,50	3	16,17	4,55	0,033
	Error	32,00	9	3,56		
	Total	85,00	15			
	CV: 5,59%		**R^2: 0,62**		**Sx: ± 0,94**	
b)	Bloque	3,32	3	1,11	0,27	0,844
	Tratamiento	33,5	3	11,17	2,75	0,104
	Error	36,5	9	4,06		
	Total	73,32	15			
	CV: 7,76%		**R^2: 0,50**		**Sx: ± 1,01**	
c)	Bloque	2,45	3	0,82	0,29	0,833
	Tratamiento	44,91	3	14,97	5,29	0,022

Error	25,49	9	2,83
Total	72,84	15	

CV: 4,18%	**R^2: 0,65**	**Sx: ± 0,84**

Nota. % Arena (a), % Arcilla (b), % Limo (c)

El análisis de varianza (ANVA) aplicado a las características físicas del suelo, presentado en la Tabla 11; demuestra que no existen diferencias significativas entre los bloques (p-valor>0,05), lo que confirma la homogeneidad de las condiciones iniciales en el terreno experimental. En cuanto al contenido de arena y limo, los valores de p=0,033; y p=0,022 respectivamente, revelan que los tratamientos con residuos hidrobiológicos ejercieron un efecto estadísticamente significativo, diferenciándose al menos uno de ellos del resto; por el contrario, el contenido de arcilla no presentó variaciones significativas (p-valor>0,05) tras la intervención. La precisión de la investigación se considera alta, respaldada por coeficientes de variación (CV) inferiores al 8% y coeficientes de determinación (R^2) de entre 0,50 y 0,65, lo que indica que el modelo explica satisfactoriamente la variabilidad de las propiedades físicas analizadas.

Tabla 12

Test de Duncan para contenido de arena en el suelo según tratamientos

OM	Tratamientos	Medias (%)	Significancia	
1°	T0 (Sin aplicación)	36,25	a	
2°	T1 (Residuos de pescado)	34,50	a	b
3°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	32,25		b
4°	T2 (Biofouling)	32,00		b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El análisis de la Tabla 12, que presenta el Test de Duncan para el contenido de arena, revela que el tratamiento testigo (T0) y el tratamiento T1 alcanzaron los promedios más altos con un 36,25% y 34,50% respectivamente sin diferencia estadística entre sí. No obstante, el testigo (T0) supera estadísticamente a los tratamientos T3 (32,25%) y T2 (32,00%), los cuales conforman un grupo con valores significativamente menores. Es importante destacar que no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos con aplicación de residuos (T1, T3 y T2), identificándose numéricamente el promedio más bajo de arena en el tratamiento T2 (Biofouling) con un 32,00%.

Tabla 13

Test de Duncan para contenido de limo en el suelo según tratamientos

OM	Tratamientos	Medias (%)	Significancia
1°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	28,20	a
2°	T2 (Biofouling)	26,20	b
3°	T1 (Residuos de pescado)	24,95	b
4°	T0 (Sin aplicación)	24,45	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 13; revela que el tratamiento T3 presentó el promedio más alto de limo con 28,20% superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; mientras que los tratamientos T2 (26,20%), T1 (24,95%) y T0; no difieren entre sí; identificándose numéricamente el promedio más bajo de limo en el tratamiento testigo (T0) con un 24,45%.

b. Efecto de los residuos hidrobiológicos en características químicas del suelo

El análisis de varianza (ANVA), presentado en la Tabla 14; demuestra que no existen diferencias significativas entre los bloques (p-valor>0,05), lo que confirma la homogeneidad de las condiciones iniciales en el terreno experimental. En cuanto al contenido de Conductividad Eléctrica el valor de p=0,000; revelan que los tratamientos con residuos hidrobiológicos ejercieron un efecto estadísticamente significativo, diferenciándose al menos uno de ellos del resto; por el contrario, el nivel de pH no presentó variaciones significativas (p-valor>0,05) tras la intervención. La precisión de la investigación se considera alta, respaldada por coeficientes de variación (CV) inferiores al 4,27% y coeficientes de determinación (R^2) de entre 0,59 y 0,97; lo que indica que el modelo explica satisfactoriamente la variabilidad de las propiedades químicas analizadas.

Tabla 14

ANVA para los indicadores de reacción y estado salino del suelo según tratamientos

	F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
a)	Bloque	0,18	3	0,06	0,89	0,481
	Tratamiento	0,69	3	0,23	3,40	0,067
	Error	0,61	9	0,07		
	Total	1,48	15			
	CV: 3,37%		**R^2: 0,59**		**Sx: ± 0,13**	
b)	Bloque	1,58	3	0,53	0,23	0,873
	Tratamiento	579,74	3	193,25	84,42	0,000
	Error	20,60	9	2,29		
	Total	601,92	15			
	CV: 4,27%		**R^2: 0,97**		**Sx: ± 0,76**	

Nota. pH (a), Conductividad Eléctrica CE (b)

Tabla 15

Test de Duncan para conductividad eléctrica en el suelo según tratamientos

OM	Tratamientos	Medias (mS/m)	Significancia 5%
1°	T2 (Biofouling)	44,33	a
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	37,50	b
3°	T1 (Residuos de pescado)	30,83	c
4°	T0 (Sin aplicación)	29,08	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 15; revela que el tratamiento T2 (Biofouling) presentó el promedio más alto de conductividad eléctrica con 44,33 (mS/m) superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T3, con 37,50 (mS/m); diferendo de los tratamientos T1 (30,83) y T0 (29,08) que presentan los promedios más bajos sin diferir entre sí.

Tabla 16

ANVA para materia orgánica del suelo según tratamientos

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Bloque	0,03	3	0,01	0,67	0,591
Tratamiento	3,65	3	1,22	72,65	0,000
Error	0,15	9	0,02		
Total	3,83	15			
CV: 5,00%		**Sx: ± 0,06**		**R^2: 0,96**	

El análisis de varianza (ANVA), presentado en la Tabla 16; demuestra que no existen diferencias significativas entre los bloques (p-valor>0,05). En cuanto al contenido de materia orgánica el valor de p=0,000; revelan que los tratamientos con residuos hidrobiológicos ejercieron un efecto estadísticamente significativo, diferenciándose al

menos uno de ellos del resto. La precisión de la investigación se considera alta, respaldada por coeficientes de variación (CV) de 5,00% y el coeficiente de determinación (R^2) de 0,96; indica que el modelo explica satisfactoriamente la variabilidad de la propiedad química analizada.

Tabla 17

Test de Duncan para materia orgánica en el suelo según tratamientos

OM	Tratamientos	Medias (%)	Significancia 5%
1°	T1 (Residuos de pescado)	3,10	a
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	2,83	b
3°	T2 (Biofouling)	2,60	c
4°	T0 (Sin aplicación)	1,82	d

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 17; revela que el tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó el promedio más alto de materia orgánica con 3,10% superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T3, con 2,83%; difiriendo estadísticamente de los tratamientos T2 (2,60%) y T0 (1,82%); donde estadísticamente el tratamiento testigo (T0) obtuvo el promedio más bajo.

Tabla 18

ANVA para el complejo de cambio y equilibrio catiónico del suelo

	F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
a)	Bloque	0,07	3	0,02	0,06	0,982
	Tratamiento	46,75	3	15,58	38,41	0,000
	Error	3,65	9	0,41		
	Total	50,47	15			
	CV: 3,61%		**R^2: 0,93**		**Sx: ± 0,32**	
b)	Bloque	0,44	3	0,15	0,28	0,838
	Tratamiento	45,05	3	15,02	29,08	0,000

	Error	4,65	9	0,52		
	Total	50,13	15			
CV: 4,54%			**R^2: 0,91**		**Sx: ± 0,36**	
c)	Bloque	0,02	3	0,01	0,68	0,588
	Tratamiento	0,23	3	0,08	7,72	0,007
	Error	0,09	9	0,01		
	Total	0,33	15			
CV: 6,01%			**R^2: 0,74**		**Sx: ± 0,05**	
d)	Bloque	0,000	3	0,000	0,500	0,692
	Tratamiento	0,002	3	0,001	16,500	0,003
	Error	0,000	9	0,000		
	Total	0,002	15			
CV: 9,62%			**R^2: 0,85**		**Sx: ± 0,001**	
e)	Bloque	0,00	3	0,00	0,09	0,966
	Tratamiento	0,02	3	0,01	53,06	0,000
	Error	0,00	9	0,00		
	Total	0,02	15			
CV: 8,67%			**R^2: 0,95**		**Sx: ± 0,005**	

Nota. CICE (a), Ca Cambio (b), Mg Cambio (c), Na Cambio (d), K Cambio (e)

El análisis de varianza (ANVA), presentado en la Tabla 18; demuestra que no existen diferencias significativas entre los bloques (p-valor>0,05), lo que confirma la homogeneidad de las condiciones en el terreno experimental. En cuanto al contenido de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), calcio de cambio (Ca), magnesio de cambio (Mg), sodio de cambio (Na) y potasio de cambio (K), los valores de p=0,00<0,05; revelan que los tratamientos con residuos hidrobiológicos ejercieron un efecto estadísticamente significativo, diferenciándose al menos uno de ellos del resto. La precisión de la investigación se considera alta, respaldada por coeficientes de variación (CV) inferiores al 10% y coeficientes de determinación (R^2) de entre 0,74 y 0,95, lo que indica que el modelo explica satisfactoriamente la variabilidad de estas propiedades químicas analizadas.

Tabla 19

Test de Duncan para capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (meq/100 g)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	18,75	a
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	18,74	a
3°	T2 (Biofouling)	18,37	a
4°	T0 (Sin aplicación)	14,69	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 19; revela que los tratamientos T1, T3 y T2 presentaron los promedios más altos de capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) con promedios de 18,37 a 18,75 meq/100 g; sin presentar diferencia estadística entre sí; pero difieren estadísticamente del tratamiento testigo (T0) que obtuvo el promedio más bajo con 14,69 meq/100 g.

Tabla 20

Test de Duncan para calcio de cambio (Ca) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (meq/100 g)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	17,11	a
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	16,85	a
3°	T2 (Biofouling)	16,41	a
4°	T0 (Sin aplicación)	12,96	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 20; revela que los tratamientos T1, T3 y T2 presentaron los promedios más altos de calcio de cambio (Ca) con promedios de 16,41 a 17,11 meq/100 g respectivamente; sin presentar diferencia estadística entre sí; pero difieren

estadísticamente del tratamiento testigo (T0) que obtuvo el promedio más bajo con 12,96 meq/100 g.

Tabla 21

Test de Duncan para magnesio de cambio (Mg) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (meq/100 g)	Significancia
1°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	1,78	a
2°	T2 (Biofouling)	1,75	a
3°	T1 (Residuos de pescado)	1,55	b
4°	T0 (Sin aplicación)	1,51	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 21; revela que los tratamientos T3 y T2 presentaron los promedios más altos de magnesio de cambio (Mg) con promedios de 1,78 y 1,75 meq/100 g respectivamente; sin presentar diferencia estadística entre sí; pero difieren estadísticamente de los tratamientos T1 (1,55 meq/100 g) y T0 (1,51 meq/100 g) que presentan los promedios más bajos sin diferir entre sí.

Tabla 22

Test de Duncan para sodio de cambio (Na) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (meq/100 g)	Significancia
1°	T2 (Biofouling)	0,08	a
2°	T1 (Residuos de pescado)	0,06	b
3°	T0 (Sin aplicación)	0,06	b c
4°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	0,05	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 22; revela que el tratamiento T2 (Biofouling) presentó el promedio más alto de sodio de cambio (Na) con promedio de 0,08 meq/100 g superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T1 (Residuos de pescado) con 0,06 meq/100 g; que difiere únicamente del tratamiento T3 que obtuvo el menor promedio con 0,05 meq/100 g; más no del tratamiento testigo T0 (0,06 meq/100 g).

Tabla 23

Test de Duncan para potasio de cambio (K) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (meq/100 g)	Significancia
1°	T2 (Biofouling)	0,14	a
2°	T1 (Residuos de pescado)	0,13	a
3°	T0 (Sin aplicación)	0,13	a
4°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	0,06	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 23; revela que los tratamientos T2, T1 y T0 presentaron los promedios más altos de potasio de cambio (K) con promedios de 0,13 a 0,14 meq/100 g respectivamente; sin presentar diferencia estadística entre sí; pero difieren estadísticamente del tratamiento T3 que obtuvo el promedio más bajo con 0,06 meq/100 g.

Tabla 24

ANVA para contenido de macronutrientes del suelo

	F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
a)	Bloque	4465,53	3	1488,51	0,76	0,545
	Tratamiento	1032239,77	3	344079,92	175,50	0,000
	Error	17645,56	9	1960,62		
	Total	1054350,86	15			
	CV: 3,42%		**R^2: 0,98**		**Sx: ± 22,14**	
b)	Bloque	0,28	3	0,09	0,02	0,997
	Tratamiento	16396,29	3	5465,43	1020,08	0,000
	Error	48,22	9	5,36		
	Total	16444,79	15			
	CV: 3,65%		**R^2: 0,99**		**Sx: ± 1,16**	
c)	Bloque	24,46	3	8,15	0,86	0,494
	Tratamiento	936,18	3	312,06	33,08	0,000
	Error	84,91	9	9,43		
	Total	1045,56	15			
	CV: 3,28%		**R^2: 0,92**		**Sx: ± 1,54**	
d)	Bloque	11817,63	3	3939,21	0,05	0,986
	Tratamiento	6882502,58	3	2294167,53	26,93	0,000
	Error	766725,38	9	85191,71		
	Total	7661045,58	15			
	CV: 7,12%		**R^2: 0,90**		**Sx: ± 145,94**	
e)	Bloque	31,18	3	10,39	0,04	0,987
	Tratamiento	6322,01	3	2107,34	8,68	0,005
	Error	2184,60	9	242,73		
	Total	8537,80	15			
	CV: 5,90%		**R^2: 0,74**		**Sx: ± 7,79**	

Nota. Nitrógeno (a), Fósforo (b), Potasio (c), Ca (d), Mg (e)

El análisis de varianza (ANVA), presentado en la Tabla 24; demuestra que no existen diferencias significativas entre los bloques (p-valor>0,05), lo que confirma la homogeneidad de las condiciones en el terreno experimental. En cuanto al contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio los valores de p=0,00<0,05; revelan que los tratamientos con residuos hidrobiológicos ejercieron un efecto estadísticamente

significativo, diferenciándose al menos uno de ellos del resto. La precisión de la investigación se considera alta, respaldada por coeficientes de variación (CV) inferiores al 8% y coeficientes de determinación (R^2) de entre 0,74 y 0,99; lo que indica que el modelo explica satisfactoriamente la variabilidad de estas propiedades químicas analizadas.

Tabla 25

Test de Duncan para contenido de nitrógeno (N) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	1592,90	a
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	1396,28	b
3°	T2 (Biofouling)	1297,44	c
4°	T0 (Sin aplicación)	896,19	d

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 25; revela que el tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó el promedio más alto de nitrógeno con 1592,90 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T3, con 1396,28 mg/kg; difiriendo estadísticamente de los tratamientos T2 (1297,44 mg/kg) y T0 (896,19 mg/kg); donde estadísticamente el tratamiento testigo (T0) obtuvo el promedio más bajo.

Tabla 26

Test de Duncan para contenido de fósforo disponible (P)en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T2 (Biofouling)	102,28	a
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	85,26	b
3°	T1 (Residuos de pescado)	44,81	c
4°	T0 (Sin aplicación)	21,40	d

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 26; revela que el tratamiento T2 (Biofouling) presentó el promedio más alto de fósforo disponible con 102,28 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T3, con 85,26 mg/kg; difiriendo estadísticamente de los tratamientos T1 (44,81 mg/kg) y T0 (21,40 mg/kg); donde estadísticamente el tratamiento testigo (T0) obtuvo el promedio más bajo.

Tabla 27

Test de Duncan para contenido de potasio disponible (K) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	102,88	a
2°	T2 (Biofouling)	94,93	b
3°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	94,83	b
4°	T0 (Sin aplicación)	81,57	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 27; revela que el tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó el promedio más alto de potasio disponible con promedio de 102,88 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene a

los tratamientos T2 (94,93 mg/kg) y T3 (94,83 mg/kg) si diferencia estadística entre sí; superando al tratamiento testigo (T0) que obtuvo el promedio más bajo con 81,57 mg/kg.

Tabla 28

Test de Duncan para contenido de calcio disponible (Ca) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	5214,25	a
2°	T2 (Biofouling)	3848,25	b
3°	T0 (Sin aplicación)	3827,00	b
4°	T1 (Residuos de pescado)	3515,90	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 28; revela que el tratamiento T3 presentó el promedio más alto de calcio disponible con un promedio de 5214,25 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; mientras que los tratamientos T2 (3848,25 mg/kg), T0 (3827,00 mg/kg) y T1 (3515,90 mg/kg) no difieren estadísticamente entre sí.

Tabla 29

Test de Duncan para contenido de magnesio disponible (Mg) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	288,28	a
2°	T2 (Biofouling)	278,75	a
3°	T1 (Residuos de pescado)	246,73	b
4°	T0 (Sin aplicación)	242,20	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 29; revela que los tratamientos T3 y T2 presentaron los promedios más altos de magnesio disponible con promedios de 288,28 y 278,75 mg/kg

respectivamente; sin presentar diferencia estadística entre sí; pero difieren estadísticamente de los tratamientos T1 (246,73 mg/kg) y T0 (242,20 mg/kg) que presentan los promedios más bajos sin diferir entre sí.

Tabla 30

ANVA para contenido de micronutrientes del suelo

	F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
a)	Bloque	0,13	3	0,04	0,33	0,804
	Tratamiento	1,17	3	0,39	2,87	0,096
	Error	1,22	9	0,14		
	Total	2,53	15			
	CV: 6,57%		**R^2: 0,52**		**Sx: ± 0,18**	
b)	Bloque	0,25	3	0,08	0,91	0,473
	Tratamiento	92,67	3	30,89	331,91	0,000
	Error	0,84	9	0,09		
	Total	93,76	15			
	CV: 3,41%		**R^2: 0,99**		**Sx: ± 0,15**	
c)	Bloque	2,21	3	0,74	2,35	0,140
	Tratamiento	1938,5	3	646,17	2064,14	0,000
	Error	2,82	9	0,31		
	Total	1943,53	15			
	CV: 8,67%		**R^2: 0,99**		**Sx: ± 0,28**	
d)	Bloque	1,07	3	0,36	0,62	0,622
	Tratamiento	445,44	3	148,48	255,7	0,000
	Error	5,23	9	0,58		
	Total	451,74	15			
	CV: 3,17%		**R^2: 0,99**		**Sx: ± 0,38**	
e)	Bloque	0,01	3	0,003	0,49	0,695
	Tratamiento	0,11	3	0,04	6,16	0,015
	Error	0,05	9	0,01		
	Total	0,17	15			
	CV: 7,29%		**R^2: 0,69**		**Sx: ± 0,04**	

Nota. Cu (a), Zn (b), Mn (c), Fe (d), B (e)

El análisis de varianza (ANVA), presentado en la Tabla 30; demuestra que no existen diferencias significativas entre los bloques (p-valor>0,05), lo que confirma la homogeneidad de las condiciones del terreno experimental. En cuanto al contenido de

zinc, manganeso, hierro, boro; los valores de p-valor <0,05; revelan que los tratamientos con residuos hidrobiológicos ejercieron un efecto estadísticamente significativo, diferenciándose al menos uno de ellos del resto; por el contrario, el contenido de cobre no presentó variaciones significativas (p-valor>0,05) tras la intervención. La precisión de la investigación se considera alta, respaldada por coeficientes de variación (CV) inferiores al 9% y coeficientes de determinación (R^2) de entre 0,52 y 0,99; indica que el modelo explica satisfactoriamente la variabilidad de las propiedades físicas analizadas.

Tabla 31

Test de Duncan para contenido de zinc disponible (Zn) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	12,06	A
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	9,66	b
3°	T2 (Biofouling)	8,69	C
4°	T0 (Sin aplicación)	5,36	d

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 31; revela que el tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó el promedio más alto de zinc disponible con 12,06 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T3, con 9,66 mg/kg; difiriendo estadísticamente de los tratamientos T2 (8,69 mg/kg) y T0 (5,36 mg/kg); donde estadísticamente el tratamiento testigo (T0) obtuvo el promedio más bajo.

Tabla 32

Test de Duncan para contenido de manganeso disponible (Mn) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	40,96	A
2°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	33,01	b
3°	T2 (Biofouling)	16,01	C
4°	T0 (Sin aplicación)	15,40	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 32; revela que el tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó el promedio más alto de manganeso disponible con 40,96 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene al tratamiento T3 con 33,01 mg/kg; difiriendo estadísticamente de los tratamientos T2 (16,01 mg/kg) y T0 (15,40 mg/kg); que presentaron los promedios más bajos sin diferir entre sí.

Tabla 33

Test de Duncan para contenido de hierro disponible (Fe) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T1 (Residuos de pescado)	29,51	A
2°	T2 (Biofouling)	25,87	b
3°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	25,58	B
4°	T0 (Sin aplicación)	15,34	c

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 33; revela que el tratamiento T1 (Residuos de pescado) presentó el promedio más alto de hierro disponible con promedio de 129,51 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; en segundo lugar, se tiene a

los tratamientos T2 (25,87 mg/kg) y T3 (25,58 mg/kg) si diferencia estadística entre sí; superando al tratamiento testigo (T0) que obtuvo el promedio más bajo con 15,34 mg/kg.

Tabla 34

Test de Duncan para contenido de boro disponible (B) en el suelo

OM	Tratamientos	Medias (mg/kg)	Significancia
1°	T3 (50% R. pescado + 50% Biofouling)	1,18	A
2°	T2 (Biofouling)	1,05	b
3°	T1 (Residuos de pescado)	1,00	B
4°	T0 (Sin aplicación)	0,96	b

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0,05)

El Test de Duncan de la Tabla 34; revela que el tratamiento T3 presentó el promedio más alto de boro disponible con un promedio de 1,18 mg/kg superando estadísticamente a todos los demás tratamientos; mientras que los tratamientos T2 (1,00 mg/kg), T1 (1,00 mg/kg) y T0 (0,96mg/kg) no difieren estadísticamente entre sí.

4.2. Discusión

4.2.1. Efecto de residuos hidrobiológicos en las características físicas de suelo

Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de residuos hidrobiológicos alteró significativamente la configuración física del suelo en las fracciones de arena (p =0,033) y limo (p=0,022), mientras que la fracción de arcilla se mantuvo estadísticamente estable (p>0,05). En cuanto al contenido de arena, el tratamiento testigo (T0) presentó la mayor concentración (36,25%), superando significativamente a los tratamientos T2 (32,00%) y T3 (32,25%), lo que sugiere que la adición de biofouling y mezclas combinadas tiende a reducir la dominancia de esta fracción. Por el contrario, en la fracción de limo, el tratamiento mixto T3 (50% Residuo de pescado + 50% Biofouling)

destacó con el promedio más alto (43,14%), superando de forma marcada al resto de tratamientos y al testigo.

Este comportamiento es consistente con lo reportado por Fernández-Rodríguez et al. (2024), quienes señalan que la aplicación de enmiendas orgánicas genera variaciones medibles en las propiedades físicas del suelo, dependiendo de la dosis y la naturaleza del material incorporado. La reducción proporcional de la arena en favor de un incremento en el limo (especialmente en T3) puede atribuirse al aporte de partículas finas y a la capacidad de agregación de la materia orgánica. En este sentido, Zambrano et al. (2026) sostienen que el uso de residuos orgánicos mejora la distribución del tamaño de partículas al fomentar la formación de microagregados, lo que en esta investigación se reflejó en la transición de un suelo franco arcilloso hacia una clase textural franca en los tratamientos T1 y T3.

La eficacia del tratamiento T3 y el biofouling (T2) en la modificación física se sustenta en la composición química de los insumos. El biofouling aporta niveles excepcionales de calcio (18,24% de CaO), un catión divalente fundamental para la floculación de coloides y la estabilidad estructural del suelo. Asimismo, el alto contenido de materia orgánica de los residuos de pescado (56,64%) actúa como un ligante biológico. que, según Chura, (2025) interactúa con la fracción mineral para mitigar la porosidad excesiva de los suelos arenosos, incrementando la retención de partículas finas. En conjunto, la sinergia entre el calcio del biofouling y la materia orgánica del pescado facilita una reestructuración física que favorece un ambiente edáfico más equilibrado para el cultivo.

4.2.2. Efecto de residuos hidrobiológicos en las características químicas de suelo

La evaluación de las propiedades químicas del suelo tras la aplicación de residuos hidrobiológicos reveló cambios significativos en el estado salino y la fracción orgánica,

mientras que la reacción del suelo (pH) se mantuvo estadísticamente estable. En cuanto a la Conductividad Eléctrica (CE), se observó un incremento; donde el tratamiento T2 (Biofouling) alcanzó el promedio más alto con 0,4433 dS/m, seguido por el tratamiento mixto T3 (0,3750 dS/m), ambos superando significativamente al testigo (0,2908 dS/m). Paralelamente, la Materia Orgánica (M.O.) experimentó una mejora sustancial, destacando el tratamiento T1 (Residuos de pescado) con el valor máximo de 3,10%, seguido por T3 (2,83%), logrando ambos superar de manera marcada el nivel inicial del testigo (1,82%). El incremento en la salinidad, particularmente en el tratamiento con Biofouling, coincide con lo expuesto por Aimituma-Franco et al. (2023) quienes advierten que el uso de residuos orgánicos marinos sin un proceso de lavado previo puede elevar los niveles de sales solubles debido a su origen oceánico. Los análisis de laboratorio confirman que el Biofouling posee una CE propia de 0,1827 mS/cm y concentraciones extremas de cloruros (26 991,63 mg/kg) y sodio (10 348,26 mg/kg), lo que explica el aumento del estado salino en el suelo receptor.

Por otro lado, la mejora en el contenido de materia orgánica es consistente con los hallazgos de Briseño-López et al. (2025), quienes determinaron que las enmiendas orgánicas son herramientas eficaces para elevar la fertilidad edáfica y el carbono orgánico. El predominio del tratamiento T1 en este indicador se sustenta en la composición del residuo de pescado, el cual presenta un 56,64% de materia orgánica total. Según Chura (2025) la rápida mineralización de los tejidos blandos del pescado favorece la incorporación inmediata de complejos orgánicos al suelo, lo que se traduce en el incremento del 1,80% inicial a un 3,10% final observado en esta investigación.

Por otro lado; el análisis del complejo de cambio tras la aplicación de residuos hidrobiológicos reveló una mejora significativa en la fertilidad química del suelo del Fundo Santa Rosa. La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE) y el Calcio

de cambio (Ca) experimentaron incrementos notables en los tres tratamientos evaluados (T1, T2 y T3), alcanzando valores de hasta 18,75 meq/100 g y 17,11 meq/100 g respectivamente, lo que representa una superioridad estadística contundente frente al testigo (T0). Asimismo, el Magnesio de cambio (Mg) destacó en los tratamientos con Biofouling (T2 y T3), mientras que el Sodio (Na) registró su nivel más alto en T2 (0,08 meq/100 g) y el Potasio (K) mostró una reducción específica en el tratamiento mixto T3.

Este incremento sustancial en la CICE es consistente con los hallazgos de Briseño-López et al. (2025), quienes determinaron que la incorporación de enmiendas orgánicas potencia de manera directa la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes esenciales. En el presente estudio, la transición de una CICE basal de 14,69 meq/100 g a niveles superiores a 18 meq/100 g se fundamenta en el alto contenido de materia orgánica del Residuo de Pescado (56,64%) y el Biofouling (45,05%). Según Chura (2025) y Tejada et al. (2025) la descomposición de estos residuos genera coloides orgánicos con una alta densidad de cargas negativas, lo que incrementa los sitios de adsorción para cationes divalentes como el calcio y el magnesio.

En cuanto al equilibrio catiónico, la dominancia del calcio en los tratamientos con Biofouling (T2 y T3) se explica por la composición del insumo, que aporta un 18,24% de CaO inicial. Esta abundancia de calcio es fundamental para la recuperación de suelos degradados, ya que, como sostienen Laínez-Vanegas et al. (2024) el calcio actúa desplazando cationes monovalentes del complejo de cambio. Esto se observa claramente en el tratamiento mixto T3, que logró reducir el sodio de cambio al promedio más bajo (0,05 meq/100 g). Teóricamente, esta sinergia entre el calcio del biofouling y la materia orgánica del pescado facilita un proceso de intercambio iónico donde el calcio ocupa los sitios de intercambio, permitiendo que el sodio sea movilizado y lixiviado, mejorando así la estructura química del suelo (Mengel y Kirkby, 2000; Pérez-Porras et al., 2024).

Por el contrario, el ligero aumento de sodio en T2 (0,08 meq/100 g) y la reducción de potasio en T3 sugieren que la aplicación masiva de sales solubles presentes en el biofouling crudo (cloruros y sodio) puede generar una competencia por los sitios de intercambio si no existe un balance adecuado. No obstante, el balance general indica que el empleo de residuos hidrobiológicos, especialmente en su forma mixta, es una estrategia eficaz para fortalecer el complejo de cambio y optimizar el equilibrio mineral del suelo agrícola.

Respecto a los macronutrientes; la aplicación de residuos hidrobiológicos generó un impacto altamente significativo en su disponibilidad, incrementando sustancialmente la fertilidad química del suelo en comparación con el testigo (T0). El nitrógeno y el potasio alcanzaron sus niveles máximos en el tratamiento T1 (Residuos de pescado) con 1592,90 mg/kg y 102,88 mg/kg, respectivamente. Por su parte, el fósforo disponible destacó en el tratamiento T2 (Biofouling) con 102,28 mg/kg, superando ampliamente a los demás grupos. Finalmente, el tratamiento mixto T3 (50% RP + 50% BF) optimizó la presencia de calcio (5214,25 mg/kg) y magnesio (288,28 mg/kg), evidenciando una sinergia nutritiva superior a la aplicación individual de las enmiendas.

El incremento del nitrógeno en el tratamiento T1 se fundamenta en la composición química del residuo de pescado, el cual posee un 3,74% de Nitrógeno Total y una relación C/N de 8,78. Esta relación facilitó una mineralización rápida y eficiente. Según Mindari et al. (2023) las enmiendas con bajas relaciones C/N (<10) aseguran una liberación neta de nitrógeno disponible para el suelo, evitando procesos de inmovilización biológica. Asimismo, el aumento del potasio en este tratamiento coincide con lo planteado por Osuna-Ceja et al. (2024), quienes sostienen que la descomposición de tejidos orgánicos de origen animal libera cationes solubles que fortalecen la reserva potásica del sustrato.

En relación al fósforo, la superioridad del tratamiento T2 (Biofouling) se explica por el alto contenido de P_2O_5 (5,97%) detectado en la caracterización inicial del residuo. Este hallazgo concuerda con Chura (2025) quien señalan que los residuos calcáreos marinos actúan como fuentes de fósforo de liberación gradual. Por otro lado, la acumulación excepcional de calcio y magnesio en el tratamiento T3 se atribuye al aporte directo de CaO (18,24%) proveniente del biofouling y a la mejora en la capacidad de retención del suelo inducida por la materia orgánica del pescado. Como indican Briseño-López et al. (2025), la integración de diversas fuentes orgánicas potencia la disponibilidad de cationes divalentes, lo cual es crítico en el Fundo Santa Rosa para equilibrar el complejo de cambio y mejorar la saturación de bases, transformando un suelo de fertilidad inicial baja en uno con altos niveles de macroelementos esenciales para la producción agrícola.

Finalmente; referente a los micronutrientes; la incorporación de residuos hidrobiológicos generó un impacto estadísticamente significativo en la disponibilidad de zinc, manganeso, hierro y boro en el suelo del Fundo Santa Rosa. El tratamiento T1 (Residuos de pescado) destacó como la enmienda más eficaz para incrementar las concentraciones de zinc (12,06 mg/kg), manganeso (40,96 mg/kg) y, de manera excepcional, el hierro disponible, el cual ascendió a 129,51 mg/kg partiendo de una línea base de 14,90 mg/kg. En cuanto al boro, el tratamiento mixto T3 (1,18 mg/kg) logró superar estadísticamente al resto de grupos. Por el contrario, el contenido de cobre no mostró variaciones significativas, manteniendo una estabilidad relativa frente al testigo.

La marcada superioridad del tratamiento T1 en el aporte de zinc, manganeso y hierro se sustenta en la composición elemental de los residuos de pescado utilizados. Según la caracterización de los insumos, este residuo posee concentraciones totales de hierro de 7601 mg/kg y de zinc de 196,45 mg/kg, valores superiores a los registrados en el biofouling. Estos resultados guardan relación con lo expuesto por Briseño-López et al.

(2025), quienes afirman que las enmiendas orgánicas de origen biológico no solo aportan macronutrientes, sino que actúan como una reserva crítica de oligoelementos que son liberados gradualmente durante el proceso de descomposición.

Desde una perspectiva teórica, el incremento en la disponibilidad de estos micronutrientes, especialmente el hierro en T1, se explica por la formación de complejos orgánicos o quelatos. De acuerdo con Zambrano et al. (2026) la materia orgánica proveniente de tejidos blandos (como el pescado) libera ácidos fúlvicos y húmicos durante su mineralización, los cuales quelatan a los metales de transición (Fe, Zn, Mn), evitando que estos precipiten en formas insolubles debido al pH ligeramente alcalino (7,90) del suelo en estudio. Esta dinámica es fundamental para explicar por qué el tratamiento T1, con el mayor aporte de materia orgánica (3,10%), facilitó la mayor solubilidad de estos elementos.

Respecto al boro, el éxito del tratamiento mixto T3 sugiere un efecto sinérgico entre los componentes. Chura (2025) señalan que los residuos marinos son fuentes naturales ricas en boro, y su combinación con materia orgánica estabilizada mejora su retención en la solución del suelo, evitando su lixiviación. Finalmente, la ausencia de cambios significativos en el cobre coincide con lo mencionado por Mengel y Kirkby (2000) que este elemento posee una alta afinidad por la fracción orgánica sólida, pudiendo quedar retenido en formas no intercambiables en el corto plazo tras la aplicación de la enmienda.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El diagnóstico del análisis físico-químico inicial del suelo del Fundo Santa Rosa determinó que el suelo presentaba una clase textural franco arcillosa, caracterizada por una reacción ligeramente alcalina (pH 7,90) y una condición de salinidad baja (0,2920 mS/m). Asimismo, se identificó un nivel deficiente de materia orgánica (1,80%) y una disponibilidad limitada de macronutrientes esenciales (nitrógeno 686,88 mg/kg y fósforo 12,24 mg/kg), estableciendo un escenario de baja fertilidad natural y restricciones físicas para el desarrollo agrícola antes de la intervención.

- Tras la incorporación de los residuos hidrobiológicos; T1 (Residuos de pescado) y mixtos T3 (50% Residuo de pescado + 50% Biofouling); el suelo evidenció una transformación hacia una clase textural franca, junto con un incremento notable en la fracción orgánica, que alcanzó un máximo de 3,10% en el T1. Si bien se logró una mejora sustancial en el complejo de cambio y la disponibilidad de nutrientes, la caracterización final también reveló un incremento en la conductividad eléctrica en las parcelas con T2 (Biofouling), debido a la carga iónica propia de este residuo marino.

- La aplicación de residuos hidrobiológicos ejerció un efecto significativo en el mejoramiento de la estructura física del suelo, específicamente en las fracciones de arena y limo. Se determinó que el tratamiento T2 (Biofouling) y el T3 (50% Residuo de pescado + 50% Biofouling) fueron los más eficaces para reducir la dominancia de la fracción arenosa, mientras que el tratamiento mixto (T3) optimizó el contenido de limo (43,14%), favoreciendo una distribución granulométrica más equilibrada que mejora la retención de humedad y la aireación del perfil cultivable.

- La aplicación de las enmiendas generó un mejoramiento significativo en la fertilidad química integral, destacando el incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), que ascendió de 14,69 a 18,75 meq/100g. El residuo de pescado (T1) se consolidó como la enmienda superior para el aporte de nitrógeno (1592,90 mg/kg) y materia orgánica, mientras que el tratamiento mixto (T3) resultó ser el más equilibrado para potenciar la disponibilidad de calcio, magnesio y boro. Estos resultados validan que la sinergia de los residuos hidrobiológicos corrige las deficiencias nutricionales y fortalece el complejo de cambio del suelo.

5.2. Recomendaciones

- Debido al incremento significativo de la conductividad eléctrica observado tras la aplicación de biofouling (T2 y T3), se recomienda realizar riegos de lavado o aprovechar periodos de precipitación antes del establecimiento del cultivo. Esta práctica permitirá lixiviar el exceso de cloruros y sodio aportados por los residuos marinos, mitigando el riesgo de fitotoxicidad y asegurando que la salinidad retorne a niveles tolerables para las plantas.

- Para el mejoramiento fisico-quìmico del suelo, se sugiere priorizar el uso del tratamiento mixto (50% residuos de pescado y 50% biofouling) en programas de fertilización. Los resultados demuestran que esta combinación no solo mejora la textura del suelo de manera más equilibrada (clase franca), sino que también maximiza la disponibilidad de calcio y boro, elementos críticos que a menudo se encuentran bloqueados en suelos con pH ligeramente alcalino.

- Dada la alta concentración de nitrógeno y hierro disponible alcanzada con el tratamiento T1 (Residuos de pescado), se recomienda realizar análisis de seguimiento trimestrales durante el ciclo del cultivo. Esto permitirá ajustar las dosis de fertilización complementaria y evitar desequilibrios nutricionales o la lixiviación de nitratos hacia las capas profundas del suelo.

- Para futuras aplicaciones a mayor escala, se recomienda someter el biofouling a un proceso de desalinización parcial o compostaje controlado junto con materiales carbonados (como rastrojos). Este proceso ayudaría a estabilizar la materia orgánica y reducir la carga iónica inicial del residuo, potenciando sus beneficios estructurales sin comprometer el estado salino del suelo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarzua, S., & Jakubowski, S. (1995). *Biotechnological investigation for the prevention of biofouling.* https://www.researchgate.net/publication/240808793_Biotechnological_investigation_for_the_prevention_of_biofouling_I_Biological_and_biochemical_principles_for_the_prevention_of_biofouling

Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E., y Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, *2*(1), 1-17. https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.388

Arias, J. L. (2020). *Proyecto de tesis: Guía para la elaboración* (Edición digital). José Luis Arias Gonzales. https://www.biblioteca.unach.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3041

Bazán, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/504

Briseño-López, M. de J., Zamora-Salgado, S., Lucero-Vega, G., y Romero-Bastidas, M. (2025). Effect of organic amendments on the control of Meloidogyne incognita and on the physicochemical properties of the soil. *Mexican Journal of Phytopathology*, *43*(4), 1-13. https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2024-29

Carbajal, C., Vera, J., Pizarro, S., y Mestanza, C. (2025). Simulation of soil organic carbon potential sequestration for high Andes Peruvian croplands. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, *49*, 1-15. https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20240241

Chura, W. E. (2025). Efecto de la Aplicación de Biochar e Hidrolizado de Pescado para el Mejoramiento de Suelos Salinos de la Yarada Los Palos en Tacna, Perú. *Sciencevolution*, *4*(2), 123-132. https://doi.org/10.61325/ser.v4i2.196

Clavijo (2022). *Propuesta de mejoramiento de suelos para su uso en huertos urbanos de agricultura orgánica.* https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d774ecb2-cb83-4a1d-8167-c7e93646f03b/content

Delgado, E. J., Benavente, G. E., y Cáceres, G. V. (2019). Elaboración de Fertilizante Orgánico a Partir de Vísceras de Trucha (Oncorhynchus mikyss) y Jurel (Trachurus murphyi), Cuantificación y Evaluación del Efecto de los Nutrimentos Minerales. *Anales Científicos*, *80*(2), 452-461. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7522821

Deng, P.-B., Guo, L.-P., Yang, H.-T., Leng, X.-Y., Wang, Y.-M., Bi, J., y Shi, C.-F. (2023). Effect of an Organic Fertilizer of Ganoderma lucidum Residue on the Physical and Chemical Properties and Microbial Communities of Saline Alkaline Soil. *Water*, *15*(5), 962. https://doi.org/10.3390/w15050962

Eguía, E. (1999). *El problema del biofouling en intercambiadores de calor - condensadores refrigerados por agua de mar*. https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=tcwKhFBpmT4C&oi=fnd&pg=PA15&dq=biofouling+concepto&ots=z_TfsZX-sS&sig=V0zD6FEhfgKYZa8Ham9q2Mo5vR0#v=onepage&q=biofouling%20concepto&f=false

FAO. (2015). *Status of the World's Soil Resources: Main Report*. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6ec24d75-19bd-4f1f-b1c5-5becf50d0871/content

Felles-Leandro, D. U., Zelada-López, J., y García-Bendezú, S. (2025). Impacto de enmiendas orgánicas sobre las propiedades químicas del suelo y el rendimiento del cultivo orgánico de palto (Persea americana Mill.) en Lima, Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *28*(3), 1-16. https://doi.org/10.56369/tsaes.6469

Fernández, R., Trapero, A., y Domínguez, J. (2010). *Experimentación en agricultura*. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941EXPERIMENTACION.pdf

Fernández-Rodríguez, J. P., Álvarez-Herrera, J. G., y Jaime-Guerrero, M. (2024). Propiedades físicas de un suelo sometido a la aplicación de diferentes cantidades de materia orgánica de escarabajo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *27*(2), 1-9. https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2561

Gema, L., Vera, V., Giler, J. M., y Simbaña, K. (2022). Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone – Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, *16*(1), 334-341. https://doi.org/10.53591/cna.v16i1.1599

Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw-Hill. https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/3650023/

Huaroc, H. H., Olivar, Y. R., y Omonte, J. N. (2021). *Efecto de enmiendas orgánicas e inorgánicas en el mejoramiento de suelos cultivados con maca (Lepidium meyenii Lepidium meyenii Walp.). Carhuamayo. 2021* [Tesis Ing. Amb., Universidad

Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/item/1cfe4519-c91f-49fa-a5b3-7eccb414f111

INEI. (2020). *Estadísticas de degradación de suelos en el Perú*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf

Laínez-Vanegas, K. R., Aráuz-Ordóñez, E. M., Chavarría-Blanco, J. A., Dávila-Escobar, G. Á., y Aker-Narváez, C. E. (2024). Efecto de las enmiendas orgánicas (biocarbón, gallinaza, bovinaza) aplicadas al suelo. *Revista iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*, *10*(20), 2492-2498. https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i20.21914

Mengel, K., y Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (R. J. Melgar, Trad.; 4.ª ed.). Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria-Pergamino. https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf

Mercado, S. S. (2025). *Efecto del biol de residuos de pescado obtenido mediante fermentación láctica en la productividad, calidad del suelo y composición química de betarraga (Beta vulgaris)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Santa]. http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/5319

Mindari, W., Sasongko, P. E., y Santoso, S. B. (2023). Changes of Soil Physical and Chemical Characteristics of Vertisol by Organic Matter and Sands Applications. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, *28*(2), 79-87. https://doi.org/10.5400/jts.2023.v28i2.79-87

Ministerio de Agricultura del Perú. (2021). *Informe sobre la calidad del suelo en las regiones agrícolas*. https://www.midagri.gob.pe/portal/images/pcm/2022/eval-resultados-pna2021-2030.pdf

Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacio, J. J., y Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5.ª ed.). Ediciones de la U.

Osuna-Ceja, E. S., Martínez-Gamiño, M. Á., Padilla-Ramírez, J. S., y Pimentel-López, J. (2024). Indicadores de calidad de suelo y productividad sustentable con agricultura de conservación. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *15*(8), 1-10. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.2970

Paragua, M., Bustamante, N., Norberto, L. A., Paragua, M. G., y Paragua, C. A. (2022). *Investigación Científica: Formulación de proyectos de investigación y tesis*. UNHEVAL. https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2025/01/LIBRO-INVESTIGACION-CIENTIFICA.pdf

Pérez-Porras, W. E., Flores-Marquez, R., Calero-Rios, E. N., Arévalo-Aranda, Y. G., y Solórzano-Acosta, R. A. (2024). *Manual de aplicación de enmiendas para suelos salinos y sódicos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). https://hdl.handle.net/20.500.12955/2595

Prialé, C. A. (2017). *Muestreo de Suelos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. Estación Experimental Agraria Pichanaki - Junín. https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/45

Quezada, C., Apolo, N., y Delgado, K. (2018). Investigación científica. En *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica* (pp. 12-38). Editorial UTMACH.

Quiroga, A. R., y Bono, A. A. (2012). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Edición 2012*. Ediciones INTA. http://hdl.handle.net/20.500.12123/14650

Rivero, M. S., Aníbal, R. A., Zevallos, E. L., Céspedes, Q. N., y Meneses, P. W. (2021). *Seminario de tesis: Diseño y elaboración de una investigación*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. https://www.unheval.edu.pe/useybt/

Soto-Valenzuela, J. O., Álvarez-Vera, M. S., Vásquez, J. E., y Ricardo, G. B. (2024). Evaluación físico, químico y microbiológico del suelo en cultivos de Musa paradisiaca Cavendish y Elaeis guineensis Jac. Provincia de los Ríos. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, *8*(22), 110-125. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.252

Tejada, J. C., Tirado, L. U. M., Quispe, F. Y., Mamani, J. M., Apaza, J. A., Muñante, K. A., y Gomez, Y. D. (2025). Efecto de hidrólisis de residuos de pescado sobre el cultivo de la espinaca (Spinacia oleracea) en la ciudad de Tacna—Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, *12*(1), 57-63. https://doi.org/10.53287/mrmp1597fq18c

Vera, R., Del Valle Holguín, W., Pallarozo, R. I., y Duma, K. I. (2022). Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas. *Sinapsis: La revista científica del ITSUP*, *2*(21), 1-17. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9052304

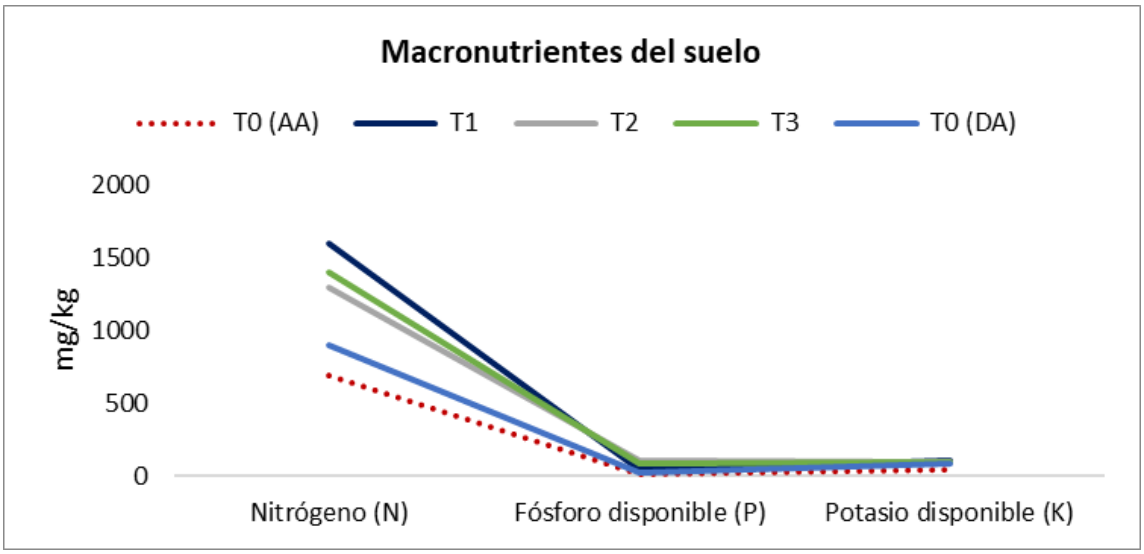
VII. ANEXOS

Anexo 01. Base de datos

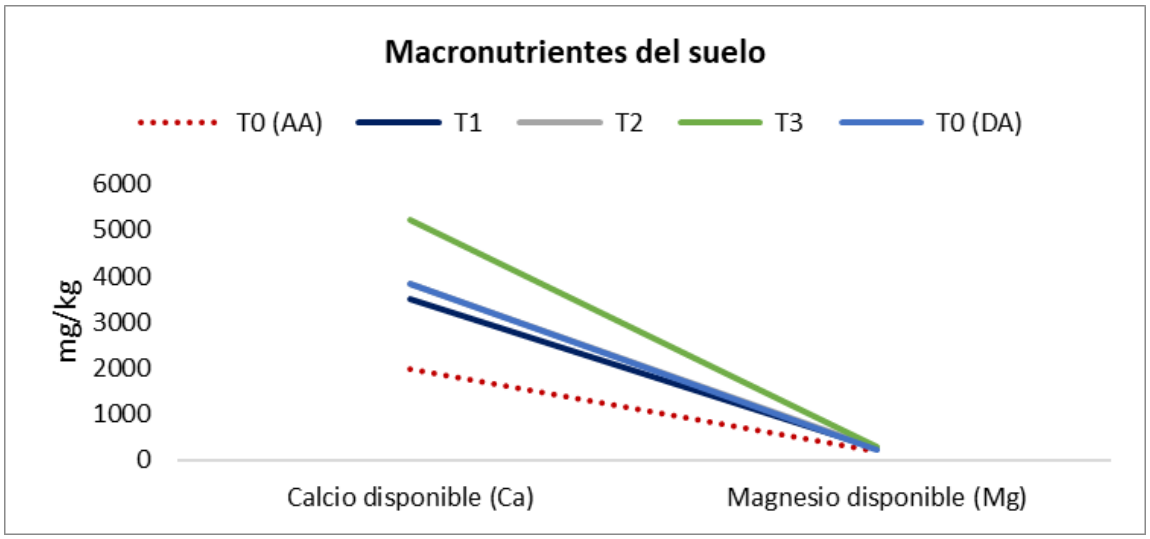
Bloque	Tratamiento	Características físicas			Características químicas							
		Arena %	Arcilla %	Limo %	pH	CE (dS/m)	Mo (%)	CICE (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	Mg (meq/100g)	Na (meq/100g)	K (meq/100g)
I	T1	34,00	26,80	39,20	7,69	0,3060	3,09	18,73	17,00	1,54	0,06	0,13
II	T1	35,00	28,00	41,00	7,36	0,3350	3,20	19,40	15,86	1,70	0,07	0,14
III	T1	33,00	24,00	37,70	7,92	0,3070	3,00	18,50	16,96	1,32	0,06	0,13
IV	T1	36,00	26,00	39,10	7,75	0,2850	3,10	18,36	18,63	1,62	0,06	0,12
I	T2	32,00	28,80	39,20	7,49	0,4430	2,55	18,35	16,40	1,73	0,08	0,14
II	T2	30,00	26,00	37,30	7,68	0,4298	2,55	18,20	16,10	1,72	0,07	0,12
III	T2	35,00	30,00	42,00	7,25	0,4440	2,70	17,95	17,00	1,81	0,08	0,14
IV	T2	31,00	28,00	38,90	7,42	0,4562	2,60	18,96	16,12	1,75	0,07	0,14
I	T3	32,00	24,80	43,20	7,69	0,3740	2,82	18,73	16,85	1,78	0,05	0,06
II	T3	34,00	26,00	44,60	7,70	0,3830	2,60	19,10	17,40	1,80	0,05	0,05
III	T3	30,00	25,00	41,92	7,60	0,3700	2,80	18,47	16,42	1,76	0,04	0,06
IV	T3	33,00	22,00	42,85	7,77	0,3730	3,10	18,65	16,72	1,77	0,05	0,07
I	T0	36,00	24,80	39,20	7,99	0,2910	1,81	14,68	13,00	1,50	0,05	0,13
II	T0	38,00	22,00	38,50	7,97	0,2792	1,90	13,50	12,96	1,60	0,06	0,14
III	T0	34,00	27,00	41,40	7,60	0,3090	1,70	15,60	13,20	1,55	0,05	0,13
IV	T0	37,00	26,00	37,80	8,60	0,2840	1,86	14,96	12,67	1,40	0,06	0,12

Bloque	Tratamiento	Características químicas								
		N (Mg/kg)	P (Mg/kg)	K (Mg/kg)	Ca (mg/Kg)	Mg (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	B (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)
I	T1	1592,90	44,64	102,27	3503,50	245,50	12,04	40,90	1,01	29,16
II	T1	1590,00	47,80	102,19	3800,10	250,80	12,60	42,50	0,90	30,10
III	T1	1698,80	41,20	108,25	2956,80	220,00	11,50	40,50	1,00	28,90
IV	T1	1489,90	45,60	98,80	3803,20	270,60	12,10	39,95	1,10	29,86
I	T2	1297,44	103,28	94,92	3847,00	278,50	8,64	15,92	1,06	25,88
II	T2	1307,10	98,60	91,99	3689,00	290,30	8,40	16,60	1,05	24,90
III	T2	1285,12	105,25	94,84	3910,00	270,20	8,60	15,70	0,99	26,90
IV	T2	1300,10	102,00	97,95	3947,00	276,00	9,10	15,83	1,10	25,80
I	T3	1396,28	85,26	94,81	5205,00	287,50	9,58	32,90	1,17	25,12
II	T3	1396,70	86,10	97,70	5125,00	278,80	10,00	32,80	1,15	26,80
III	T3	1392,55	85,16	94,90	5605,00	300,00	9,40	33,40	1,20	24,90
IV	T3	1399,60	84,50	91,90	4922,00	286,80	9,65	32,95	1,18	25,50
I	T0	896,19	21,40	81,31	3826,00	240,00	5,34	15,36	0,95	15,24
II	T0	896,00	20,70	85,45	3730,00	238,00	5,25	16,00	1,10	15,90
III	T0	897,15	22,20	81,60	3836,00	260,00	5,50	14,80	0,85	14,50
IV	T0	895,40	21,30	77,92	3916,00	230,80	5,33	15,45	0,92	15,70

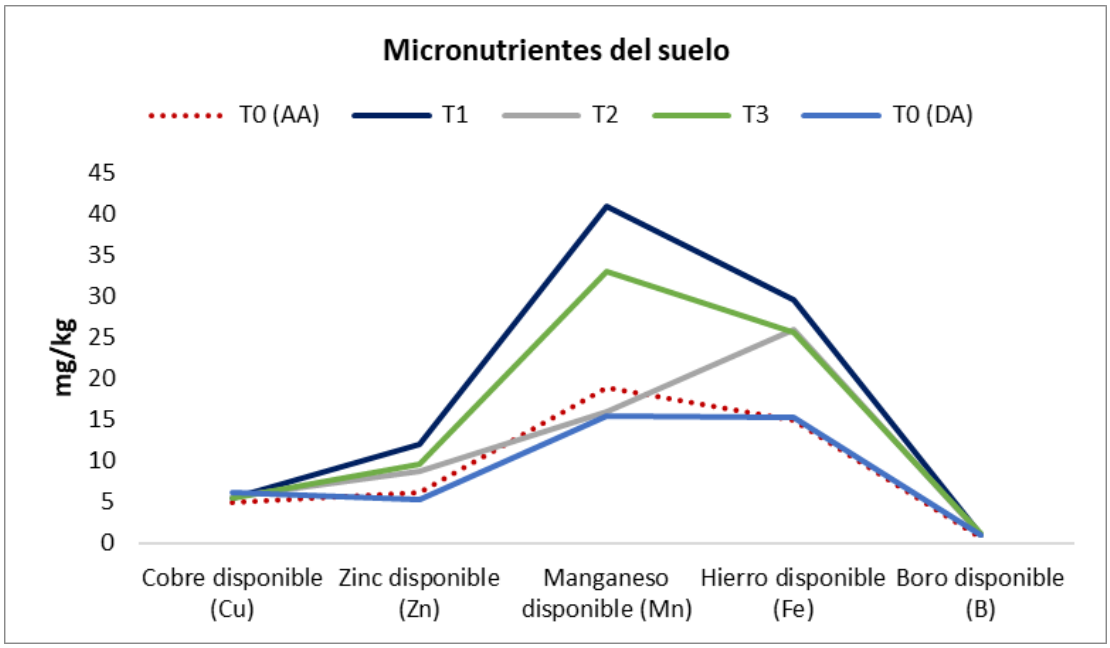
Anexo 02. Gràfico comparativo de macronutrientes del suelo (N, P y K) en mg/kg



Anexo 03. Gràfico comparativo de macronutrientes del suelo (Ca y Mg) en mg/kg



Anexo 04. Gràfico comparativo de micronutrientes del suelo (Cu, Zn, Mn, Fe y B) en mg/kg



Anexo 05. Tabla comparativa de macro y micronutrientes del suelo.

Componente	Unidad	Resultados				
		Antes de aplicaciòn	Despuès de aplicaciòn			
		T0 (AA)	T1	T2	T3	T0 (DA)
Macronutrientes						
Nitrógeno (N)	mg/Kg	686,88	1592,90	1297,44	1396,28	896,19
Fósforo disponible (P)	mg/Kg	12,24	44,81	102,28	85,26	21,40
Potasio disponible (K)	mg/Kg	44,80	102,88	94,93	94,83	81,57
Calcio disponible (Ca)	mg/Kg	1988,50	3515,90	3848,25	5214,25	3827,00
Magnesio disponible (Mg)	mg/Kg	191,50	246,73	278,75	288,28	242,20
Micronutrientes						
Cobre disponible (Cu)	mg/Kg	4,96	5,42	5,55	5,41	6,07
Zinc disponible (Zn)	mg/Kg	6,08	12,06	8,69	9,66	5,36
Manganeso disponible (Mn)	mg/Kg	18,90	40,96	16,01	33,01	15,40
Hierro disponible (Fe)	mg/Kg	14,90	29,51	25,87	25,58	15,34
Boro disponible (B)	mg/Kg	0,56	1,00	1,05	1,18	0,96

Anexo 06. Resultados del anàlisis del abono a base de residuos de pescado.

ANOBA
Soluciones Analíticas & Consultoría

CERTIFICACIÓN ISO 9001:2015
SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD
Nº ER-0608-24

INFORME DE ENSAYO IEFO6598

INFORMACIÓN GENERAL

CLIENTE	**RUTH MIRELI SANTOS JAQUE**	**PROCEDENCIA DE LA MUESTRA**	Fundo Santa Rosa
DIRECCIÓN	Ampliaciòn "La Molina" Mz B Lt 05 - Santa	**CULTIVO**	-
		MUESTREADO POR	Adaly Dominguez Mendez
RUC	70127042	**FECHA Y HORA DE MUESTREO**	16/07/2025 12:30
ENSAYOS SOLICITADOS	Análisis Completo de MO Sólido-FO	**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**	Muestra en bolsa plástica, 1 kg.
CONTACTO	-	**FECHA DE RECEPCIÓN**	18/07/2025
MATRIZ	Fertilizante Organico Sólido	**FECHA DE INICIO DE ENSAYO**	18/07/2025
COTIZACIÓN DEL SERVICIO	COT_250271	**FECHA FIN DE ENSAYO**	31/07/2025
ID ANOBA	FO256598	**ID MUESTRA**	Muestra de Abono de Pescado

PROYECTO "Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa"

RESULTADO DE ANÁLISIS

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	LC	RESULTADO	METODOLOGÍA
FISICOQUÍMICOS					
pH	pH	-	-	**5.92**	TMECC 04.11-A Electrometric pH Determinations for Compost
Conductividad Eléctrica	(CE)	mS/cm	-	**4.06**	TMECC 04.10-A Electrical Conductivity for Compost.
Materia Orgánica Total	-	g/100g	-	**56.64**	TMECC 05.07-A Matter Method.
Humedad	-	g/100g	-	**3.77**	TMECC 03.09-A Total Solids and Moisture at 70±5°C
Inertes Insoluble	-	g/100g	-	**29.25**	LQA-325 " Determinacion de Material Interte en HCl "
MACRONUTRIENTES					
Nitrógeno Total	(N)	g/100g	-	**3.74**	AOAC Official Method 955.04 Nitrógeno (Total)
Fósforo Total	(P_2O_5)	g/100g	-	**0.83**	AOAC Official Method 958.01 Phosphorus (Total) in Fertilizers.
Potasio Total	(K_2O)	g/100g	-	**0.12**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
NUTRIENTES SECUNDARIOS					
Calcio Total	(CaO)	g/100g	-	**6.16**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Magnesio Total	(MgO)	g/100g	-	**3.31**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
MICRONUTRIENTES					
Cobre Total	(Cu)	mg/Kg	-	**47.38**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Zinc Total	(Zn)	mg/Kg	-	**196.45**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Manganeso Total	(Mn)	mg/Kg	-	**93.78**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Hierro Total	(Fe)	mg/Kg	-	**7601**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Boro Total	(B)	mg/Kg	-	**64.62**	AOAC Official Method 982.01 Boron (Acid and Water soluble) In Fertilizer. Spectrofotometric Method

Este informe no puede ser reproducido total, ni palcialmente sin la autorizacion de ANOBA LAB y del cliente.

Anexo 07. Resultados del anàlisis del abono a base de residuos de biofouling.

ANOBA
Soluciones Analíticas & Consultoría

CERTIFICACIÓN ISO 9001:2015
SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD
N° ER-0608-24

INFORME DE ENSAYO IEFO6599

INFORMACIÓN GENERAL

CLIENTE	**RUTH MIRELI SANTOS JAQUE**	**PROCEDENCIA DE LA MUESTRA**	Fundo Santa Rosa
DIRECCIÓN	Ampliaciòn "La Molina" Mz B Lt 05 - Santa	**CULTIVO**	-
		MUESTREADO POR	Adaly Dominguez Mendez
RUC	70127042	**FECHA Y HORA DE MUESTREO**	16/07/2025 12:30
ENSAYOS SOLICITADOS	Análisis Completo de MO Sólido-FO	**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**	Muestra en bolsa plástico, 1 kg.
CONTACTO	-	**FECHA DE RECEPCIÓN**	18/07/2025
MATRIZ	Fertilizante Organico Sólido	**FECHA DE INICIO DE ENSAYO**	18/07/2025
COTIZACIÓN DEL SERVICIO	COT_250271	**FECHA FIN DE ENSAYO**	31/07/2025
ID ANOBA	FO256599	**ID MUESTRA**	Muestra de Abono Biofouling

PROYECTO **"Empleo de residuos hidrobiológicos en el mejoramiento de suelo del área cultivable del Fundo Santa Rosa, Santa"**

RESULTADO DE ANÁLISIS

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	LC	RESULTADO	METODOLOGÍA
FISICOQUÍMICOS					
pH	pH	-	-	**6.73**	TMECC 04.11-A Electrometric pH Determinations for Compost
Conductividad Eléctrica	(CE)	mS/cm	-	**18.27**	TMECC 04.10-A Electrical Conductivity for Compost.
Materia Orgánica Total	-	g/100g	-	**45.05**	TMECC 05.07-A Matter Method.
Humedad	-	g/100g	-	**10.13**	TMECC 03.09-A Total Solids and Moisture at 70±5°C
Inertes Insoluble	-	g/100g	-	**15.76**	LQA-325 " Determinacion de Material Interte en HCl "
MACRONUTRIENTES					
Nitrógeno Total	(N)	g/100g	-	**6.08**	AOAC Official Method 955.04 Nitrógeno (Total)
Fósforo Total	(P_2O_5)	g/100g	-	**5.97**	AOAC Official Method 958.01 Phosphorus (Total) in Fertilizers.
Potasio Total	(K_2O)	g/100g	-	**0.28**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
NUTRIENTES SECUNDARIOS					
Calcio Total	(CaO)	g/100g	-	**18.24**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Magnesio Total	(MgO)	g/100g	-	**0.93**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
MICRONUTRIENTES					
Cobre Total	(Cu)	mg/Kg	-	**18.91**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Zinc Total	(Zn)	mg/Kg	-	**96.52**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Manganeso Total	(Mn)	mg/Kg	-	**96.52**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Hierro Total	(Fe)	mg/Kg	-	**6358**	AOAC Official Method 965.09 Nutrients (Minor) in fertilizer.
Boro Total	(B)	mg/Kg	-	**56.88**	AOAC Official Method 982.01 Boron (Acid and Water soluble) In Fertilizer. Spectrofotometric Method

Este informe no puede ser reproducido total, ni palcialmente sin la autorizacion de ANOBA LAB y del cliente.