

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Comparación del efecto de la biorremediación con rhyzobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Delgadillo Gomez, Juana Cecilia

ASESOR: Zacarías Ventura, Héctor Raúl

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76757926

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22515329

Grado/Título: Doctor en ciencias de la educación

Código ORCID: 0000-0002-7210-5675

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Calixto Vargas, Simeón Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002-5114-4114
2	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
3	Valdivia Martel, Perfecta Sofia	Maestro en Ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	43616954	0000-0002-7194-3714



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:00 horas del día 02 del mes de setiembre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas (Presidente)
- Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel (Secretario)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1743-2025-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON RHYZOBIIUM Y LEGUMINOSAS (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR CULTIVO EXCESIVO DE CACAO"** presentado por el (la) Bach. **DELGADILLO GOMEZ, JUANA CECILIA**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 17:30 horas del día 02 del mes de SEPTIEMBRE del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas
DNI: 22471306
ORCID: 0000-0002-5114-4114
Presidente

Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel
DNI: 43616954
ORCID: 0000-0002-7194-3714
Secretario

Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JUANA CECILIA DELGADILLO GOMEZ, de la investigación titulada "COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON RHYZOBIIUM Y LEGUMINOSAS (PHASEOLUS VULGARIS) Y (CAJANUS CAJAN) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR CULTIVO EXCESIVO DE CACAO", con asesor(a) HÉCTOR RAÚL ZACARÍAS VENTURA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1806-2022-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 20 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 11 de julio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

32. DELGADILLO GOMEZ, JUANA CECILIA.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

12%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

www.unas.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado sabiduría, salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y como profesional.

A mis padres, Jonas Delgadillo Baldeon y Irene Gomez Cipriano, por ser mi apoyo emocional, económico y motivación en mi carrera profesional, siendo ellos pilares para lograr todo esto.

A mis hermanas Margarita y Esvilda; por cada palabra de aliento y motivación.

A mis tíos(as) Julián, Eusebia y Eutemia por su apoyo moral y económico.

A Jhony, Gomez Illatopa por brindarme amor, cariño y comprensión en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer profundamente a Dios y al Señor de los Milagros; su acompañamiento durante mi trayectoria ha sido constante. Ellos abrieron puertas en los momentos más inciertos y me dieron salud, fuerza y claridad cuando las dificultades parecían grandes.

Asimismo, agradezco a mis padres, hermanos, tíos y a todas las personas que, con palabras de aliento y apoyo incondicional, me empujaron una y otra vez a seguir adelante sin rendirme hasta lograr mis metas.

Mi gratitud se extiende a la Universidad de Huánuco, el lugar donde recibí una formación profesional integral, pues allí adquirí conocimientos y valores que me acompañarán siempre en mi carrera. Un reconocimiento muy especial es para mí asesor, el Mg. Héctor Raúl Zacarías Ventura, quien brindó respaldo y orientación durante todo el desarrollo de esta tesis.

También quiero mencionar a los demás docentes de la universidad que, con su entrega cotidiana, han sido una fuente permanente de inspiración. En particular agradezco al Ing. Simeón Calixto Vargas, al Biólogo Alejandro Rolando Durán Nieva y al Ing. Miguel Ángel Torres Marquina por sus enseñanzas y por impulsarme a ser un profesional íntegro.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigas, que me acompañaron y colaboraron en cada etapa de esta investigación. Su apoyo constante hizo la diferencia, y cada pequeño gesto queda en mi recuerdo con gratitud.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPÍTULO I	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	13
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	13
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	17
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	19
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS	23
2.2.1. CALIDAD DEL SUELO	23
2.2.2. SUELO.....	24
2.2.3. PROPIEDAD FÍSICA DEL SUELO	26
2.2.4. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	26
2.2.5. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO	26

2.2.6. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO	27
2.2.7. DEGRADACIÓN DEL SUELO	27
2.2.8. BIORREMEDIACIÓN	28
2.2.9. RHIZOBIUM	30
2.2.10. LEGUMINOSAS REMEDIADORAS	31
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	32
2.4. HIPÓTESIS	35
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	35
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	36
2.5. VARIABLES	37
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	37
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	37
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	38
CAPÍTULO III	39
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.1.1. ENFOQUE	39
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	39
3.1.3. DISEÑO	39
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.2.1. POBLACIÓN	40
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	40
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	40
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	45
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	45
CAPÍTULO IV	46
RESULTADOS	46
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	46
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	53
CAPÍTULO V	60
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
CONCLUSIONES	64

RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas UTM de ubicación del proyecto	16
Tabla 2	Taxonomía de <i>Rhizobium</i>	31
Tabla 3	Taxonomía del Frijol de palo (<i>Cajanus cajan</i>).....	32
Tabla 4	Taxonomía de frijol de chaucha (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	32
Tabla 5	Operacionalización de variables	38
Tabla 6	Ubicación de las coordenadas de población en el área de estudio	40
Tabla 7	Análisis mecánico del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>)	46
Tabla 8	Propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>).	47
Tabla 9	Propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>).	49
Tabla 10	Metales pesados del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>).	50
Tabla 11	Prueba de normalidad en las mediciones	52
Tabla 12	Prueba de hipótesis con t de Student para muestras independientes	54
Tabla 13	Interpretación del efecto de la biorremediación sobre los indicadores físicos y metales pesados químicos y biológicos	55
Tabla 14	Interpretación del efecto de la biorremediación sobre los indicadores químicos del suelo	56
Tabla 15	Interpretación del efecto de la biorremediación sobre los indicadores biológicos del suelo.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Horizontes del suelo	25
Figura 2 La biorremediación	28
Figura 3 Localización de puntos de muestreo en el área de excavación regular: forma de cuadrado.....	41
Figura 4 Técnica del cuarteo para recolección de muestras Técnica del cuarteo para recolección de muestras	42
Figura 5 Diferencia de análisis mecánico del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del Rhyzobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan).....	46
Figura 6 Diferencia de propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del Rhyzobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan).....	49
Figura 7 Comparación de la eficacia de Phaseolus vulgaris y Cajanus cajan en la reducción de cadmio, plomo y zinc en suelos contaminados.....	51

RESUMEN

Esta investigación se llevará a cabo en el caserío Pueblo Libre, que se encuentra en el distrito de Irazola, región Ucayali. El propósito es analizar y comparar el impacto de la biorremediación con especies del género *Rhizobium* y las leguminosas *Phaseolus vulgaris* (frijol) y *Cajanus cajan* (guandul) en la rehabilitación de suelos afectados por la agricultura intensiva de cacao. Para lograr este objetivo se utilizó un diseño experimental con dos grupos de tratamiento y cuatro repeticiones para cada grupo. Se mide una serie de indicadores del suelo como: metales pesados de carácter tóxico, filogenético y genético; plomo, cadmio y zinc. Los resultados se esperaban con los valores de referencia estipulados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos, con el fin de determinar la recuperación lograda.

Los resultados mostraron una mejora en la textura del suelo de arena franca a franco arcillosa. El pH inicial de 4.17 (fuertemente ácido) aumentó a 5.34 con *Phaseolus vulgaris* y a 5.45 con *Cajanus cajan* (medianamente ácido). Se incrementaron los niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, siendo más efectivos con *Phaseolus vulgaris*. En cuanto a los metales pesados, la mayor reducción de plomo (4.10 ppm), cadmio (0.09 ppm) y zinc (16.59 ppm) se observó con *Phaseolus vulgaris*, mientras que *Cajanus cajan* también mostró reducción significativa.

En conclusión, ambas leguminosas mejoraron las condiciones químicas del suelo y redujeron la presencia de metales pesados, destacando *Phaseolus vulgaris* por su mayor eficacia. Además, ambas estimularon la actividad microbiana, contribuyendo a la recuperación del suelo degradado.

Palabras clave: Biorremediación, *Phaseolus vulgaris*, *Cajanus cajan*, suelos degradados, metales pesados.

ABSTRACT

The research was carried out in the Pueblo Libre hamlet, Irazola district, Ucayali, with the objective of comparing the effect of bioremediation with *Rhizobium* and legumes (*Phaseolus vulgaris* and *Cajanus* *Cajan*) in the recovery of soils degraded by the intensive cultivation of cocoa. An experimental design was used with two operational groups and four repetitions, evaluating physical, chemical and biological parameters of the soil, in addition to heavy metals (lead, cadmium and zinc), contrasting them with the Environmental Quality Standards (ECA) for Soil.

The results showed an improvement in soil texture from loamy sand to clay loam. The initial pH of 4.17 (strongly acidic) increased to 5.34 with *Phaseolus vulgaris* and to 5.45 with *Cajanus* *Cajan* (moderately acidic). The levels of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium were increased, being more effective with *Phaseolus vulgaris*. Regarding heavy metals, the greatest reduction of lead (4.10 ppm), cadmium (0.09 ppm) and zinc (16.59 ppm) is observed with *Phaseolus vulgaris*, while *Cajanus* *Cajan* also showed significant reduction.

In conclusion, both legumes improved the chemical conditions of the soil and reduced the presence of heavy metals, with *Phaseolus vulgaris* standing out for its greater effectiveness. In addition, both stimulate microbial activity, contributing to the recovery of degraded soil.

Keywords: Bioremediation, *Phaseolus* *vulgaris*, *Cajanus* *Cajan*, degraded soils, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los factores clave para mantener la vida en la tierra porque sirve no solo como un medio para cultivar cultivos y extraer recursos naturales, sino que también juega un papel importante en los procesos biogeoquímicos que mantienen el equilibrio dentro de los ecosistemas. Sin embargo, en las últimas décadas, el uso intensivo de la tierra y el empleo excesivo de insumos químicos en la agricultura han generado una preocupante degradación del suelo, comprometiendo su fertilidad y productividad. Este fenómeno impacta directamente en el desarrollo de las poblaciones que dependen de la actividad agrícola, generando problemas ambientales y económicos.

En este contexto, la presente investigación tiene como propósito evaluar el efecto de la biorremediación mediante la aplicación de *Rhizobium* y leguminosas como el *Phaseolus vulgaris* y el *Cajanus cajan* en la recuperación de suelos degradados por el cultivo intensivo de cacao. Este estudio busca analizar cómo la interacción de estos microorganismos y plantas puede contribuir a mejorar la estructura y composición del suelo, favoreciendo su recuperación y garantizando su uso sostenible en la agricultura.

Este estudio es significativo ya que contribuirá al conocimiento sobre el uso de métodos biológicos para mitigar el daño en el suelo. También, los resultados obtenidos podrán ser una referencia valiosa para otros estudios y para diseñar políticas dirigidas a la conservación y rehabilitación de suelos aptos para la agricultura. En lo que respecta a las metodologías, el estudio será de tipo cuantitativo y se basará en un diseño experimental prospectivo, con un componente longitudinal y con análisis pormenorizado que facilite el seguimiento preciso de los cambios en las características edáficas del suelo antes y después de la biorremediación.

A través de este estudio, se pretende aportar soluciones innovadoras y sostenibles que beneficien tanto a los agricultores como al medio ambiente,

promoviendo prácticas agrícolas más responsables y alineadas con la conservación de los recursos naturales.

El trabajo de investigación tiene una estructura que comprende con cinco capítulos:

El Capítulo I contiene la información inicial que contextualiza el problema a desarrollar, su descripción, la formulación del problema central, así como los objetivos generales y específicos. Asimismo, se exponen los antecedentes que justifican la pertinencia del estudio, sus limitaciones y los factores que sustentan su viabilidad.

El Capítulo II incluye la revisión de la literatura y antecedentes internacionales, nacionales, locales e lo que se construyó el marco teórico que sustenta la investigación. En esta sección también se incluyen las definiciones conceptuales más relevantes, la elaboración de las hipótesis y la matriz de operacionalización de las variables.

El Capítulo III describe la metodología que se aplicó en la investigación. Esto incluye el tipo, enfoque, nivel y diseño del estudio, así como la caracterización de la población y muestra, los métodos de recolección de datos, los instrumentos empleados, así como las técnicas de análisis de la información recabada.

El Capítulo IV expone los resultados de la investigación y su análisis e interpretación. También, se realiza la confirmación de las hipótesis formuladas en función de los resultados hallados.

El Capítulo V comprende la discusión de los resultados, las conclusiones elaboradas a partir del análisis, las recomendaciones propuestas, y también la inclusión de las referencias bibliográficas consultadas. Adicionalmente, se incluyen los anexos que contienen el registro fotográfico del proyecto y los informes del laboratorio.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suelo constituye un recurso natural no renovable, limitado en su extensión y crucial para la vida en el planeta por los múltiples servicios ambientales que presta. Su función en el proceso de los ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno y el fósforo, los cuales son cíclicos y son transportados entre organismos y la materia muerta por flujos de energía, es también fundamental. No obstante, su función más reconocida es la de facilitar la producción de comida y materia prima, lo cual resulta indispensable para el desarrollo de los seres humanos (CONABIO et al. 2016).

En nuestros días es palpable el impacto significativo que la actividad agrícola genera en el suelo. Contaminación y deterioro del terreno agrícola es uno de los problemas más importantes, ya que representa un proceso nocivo que merma los niveles de bienestar en la población. La degradación se observa, copa y se manifiesta en la reducción progresiva del rendimiento de los cultivos. Esta degradación afecta diferentes factores del suelo: en el aspecto físico, se manifiesta con erosión; en lo químico con pérdida de nutrientes y aumento de acidez o salinidad; y en lo biológico por la escasa presencia de materia orgánica.

Dentro del contexto peruano, se reconoce que la intervención humana, particularmente por actividades agrícolas como el sobrepastoreo y la deforestación, es el factor predominante que contribuye a la degradación del suelo. Según datos de la FAO, aproximadamente el 54% del área territorial del país sufre algún nivel de deterioro—ya sea moderado, severo o extremadamente severo—superando incluso a países como Chile, Brasil, México, Países Bajos, Noruega y Egipto.

Encinas y Ibarra (2000), hoy en día, el uso del suelo constituye uno de los problemas más serios en el medio, pero también una gran oportunidad para el desarrollo sustentable de la región. Algunas de las consecuencias de

suelos mal empleados son la erosión, el declive de la mezcla nutritiva de un terreno fértil, así como desertificación, deforestación, deterioro de zonas de pastoreo, salinización y alcalinización de suelos que reciben irrigación, y la subutilización de tierras con alta productividad agrícola.

El Ucayali actualmente se ubica en el tercer lugar a nivel nacional en la producción de grano, con una cosecha de 16,587 toneladas sobre un área de 20,003 hectáreas, de un total de 29,688 hectáreas sembradas. Aproximadamente 4,500 familias dependen directamente del cultivo de este producto y ha nacido una economía activa en torno a ellas, orientada al comercio exterior, bajo un esquema de cooperativa. En este marco, el cacao ocupa el segundo lugar como producto más exportado de la región (CIAT).

Ucayali, es el departamento que presenta mayor degradación de suelo por el uso excesivo de insumos químicos en el cultivo de cacao ocasionando la debilitación del suelo.

Este estudio exploratorio tiene como objetivo contribuir al conocimiento sobre los métodos de recuperación del suelo evaluando el potencial de la biorremediación utilizando *Rhizobium* en asociación con leguminosas como *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*. Nuestro objetivo es proponer una alternativa viable para restaurar suelos degradados y mejorar su calidad en cumplimiento con las regulaciones actuales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son las propiedades físicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*)?

¿Cuáles son las propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*)?

¿Cuáles es el porcentaje de presencia de metales pesados del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*)?

¿Cuáles son las propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*)?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar el efecto de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) para la recuperación de suelos degradados por el cultivo excesivo de cacao.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir las propiedades físicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*).

Describir las propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*).

Describir la presencia de metales pesados del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*).

Describir las propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*).

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Es posible que en la agricultura tradicional algunos suelos se encuentren afectados por la erosión, considerándose un problema idiosincrático que deriva del abuso de este recurso natural por los agricultores. Estas prácticas, sin lugar a duda, aportan poco o nada para restaurar dicho recurso, y por ende, se hace necesario replantear nuevas estrategias. Este propósito ha motivado el presente proyecto de investigación.

Este fenómeno se observa particularmente en el distrito de Irazola, en la provincia de Padre Abad de la región Ucayali, donde la mejora del uso de los suelos está ligada al desarrollo económico y el avance tecnológico permanente que arrastra una sobreexplotación agrícola intensiva que arrastra el lugar. Sin embargo, el suelo sigue deteriorándose por la falta de implementación.

Restaurar los daños ecológicos causados por la explotación humana brindando alternativas sostenibles es el objetivo primario de la biorremediación. Se podrá recuperar, mediante Tratamientos esenciales que mejoren el suelo considerando la característica biológica de cada remediación, diferenciándose de la mayoría de éstas por darse en forma obteniendo resultados positivos.

La mayoría de los resultados de este trabajo deberían considerarse para su futura aplicación en proyectos centrados en la biorremediación, así como aplicación de adelantos tecnológicos al concepto mismo, modificando el enfoque del estudio dejando de lado la hipermetropía del suelo.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Carencia de investigaciones regionales sobre la biorremediación de suelos degradados por cultivo excesivo en Huánuco.

La universidad no cuenta con un laboratorio especializado para el análisis del suelo.

El viaje que se realizará es aproximadamente de 6 horas para llegar al área del estudio.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación es viable para evaluar la eficacia del *Rhizobium* y leguminosas en la recuperación de suelos degradados por cultivos excesivos de cacao.

La tesista pondrá en práctica todos los conocimientos adquiridos en toda la etapa de su vida universitaria y llevará adelante el proyecto de investigación.

El proyecto: Comparación del efecto de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali, se encuentra en las siguientes coordenadas UTM WGS-84 que muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1

Coordenadas UTM de ubicación del proyecto

Norte	Este	Altitud
9012293.881	463758.773	270.48 msnm

Nota. Elaborado a partir de los datos obtenidos de Google Earth.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Calero (2019) En su artículo de investigación científica y tecnológica **titulada**; “Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común”. Universidad de Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP), Brasil, el presente estudio evaluó el efecto de varios métodos de aplicación de microorganismos eficientes, junto con la inoculación con *Rhizobium*, en las características morfológicas y en la productividad del frijol común. Se plantearon dos tratamientos: uno con *Rhizobium*, incorporando 1 kg de la cepa por cada 46 kg de semilla, y otro sin dicha bacteria; además, se compararon cuatro formas de aplicar los microorganismos eficientes, incluido el tratamiento en zanja y la aplicación foliar. Se midieron el número promedio de hojas por planta, la altura, la cantidad de vainas por planta, el número de semillas por vaina, el peso de 100 semillas y el rendimiento total por hectárea. La combinación del tratamiento en zanja con la aplicación foliar produjo los mayores incrementos: se documentó un aumento del crecimiento vegetativo y un rendimiento superior de hasta 153,23. La inoculación con *Rhizobium* también resultó benéfica, duplicando la productividad en comparación con los lotes que carecieron de dicha bacteria, con un incremento aproximado del 100 respecto al control.

Simone da Costa (2018) En revista su **titulada**: “Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba” Brasil. Universidad de Sao Paulo Piracicaba-SP(Brasil). Este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de tres especies de abonos verdes (*Mucuna deeringiana*, *Crotalaria juncea* y *Crotalaria spectabilis*) en la productividad de dos variedades de perejil (Lisa Preferida y Graúda

Portuguesa), así como en algunas propiedades del suelo en Piracicaba-SP, Brasil. Se realizaron dos experimentos donde se evaluaron las características físicas (densidad, porosidad, macro y microporosidad) y químicas (pH, materia orgánica y nutrientes). Los abonos verdes no presentaron cambios significativos en las propiedades físicas, aunque en el segundo experimento mejoraron el calcio, fósforo y la suma de bases. La productividad del perejil se registró en un aumento del 61% durante el primer experimento con la aplicación de abono verde; sin embargo, no se observó mejora durante el segundo experimento, probablemente debido a factores abióticos. Se concluyó que un ciclo de abono verde es insuficiente para mejorar sustancialmente la fertilidad del suelo, por lo tanto, se sugiere que esta práctica se adopte de manera más permanente para lograr resultados sostenidos.

(Frota, 2019) en su investigación **titulada**: “La utilización de fitomassa en la recuperación de suelo degradado - Vila Buriti / Manaus (AM)”. Universidad federal do Rio de Janeiro, Tres Lagoas (MS), Brazil. La investigación tuvo como objetivo evaluar la recuperación de una área degradada con la aplicación de fitomasa en asociación con *Theobroma grandiflorum* (cupuaçu). Esto involucró evaluar la degradación del suelo con un penetrómetro de impacto y un permeámetro de Guelph, así como analizar muestras de suelo para determinar su distribución de tamaño de partículas, densidad aparente y densidad seca. Se realizaron mediciones trimestrales del crecimiento de las plantas y se reabasteció fitomasa en una de las parcelas para medir su efecto en el desarrollo. En general, los resultados indicaron que el mejor crecimiento se obtuvo de la cotiledón con fitomasa; sin embargo, al final del experimento solo sobrevivieron 2 plantas en la parcela de control y 1 en la parcela tratada. Se concluyó que el cupuaçu no podía clasificarse como una especie adecuada para la recuperación de suelos degradados, aunque la aplicación de fitomasa contribuyó a mejorar las propiedades del suelo, reducir la lixiviación, recuperar algunos minerales beneficiosos y aumentar la porosidad del suelo.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Alcarraz (2020) en su investigación **titulada**: “Azotobacter y Rhizobium como biofertilizantes naturales en semillas y plantas de frijol caupí” Universidad Nacional de San Marcos, Perú. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos bacterias biofertilizantes, *Rhizobium* y *Azotobacter*, en el crecimiento del frijol caupí, conocido científicamente como *Vigna unguiculata*. Se aislaron cepas de *Azotobacter* a partir de suelo del distrito de La Molina, Lima, Perú, empleando el medio Winogradsky, mientras que las cepas de *Rhizobium* se obtuvieron de los nódulos de plantas cultivadas y se propagaron en un medio de Agar-Levadura-Manitol. Tras inocular las cepas sobre semillas, el grupo tratado con Azotobacter mostró una germinación del 80%, frente al 66% del control que sólo recibió agua. Entre las cepas de Rhizobium, la denominada Rizo E10 sobresalió al presentar la mayor biomasa seca al cumplir 18 días. En condiciones de invernadero, el análisis estadístico de Duncan reveló incrementos significativos en el peso seco de las raíces en el tratamiento combinado de ambas bacterias respecto al control con agua, así como un aumento en la biomasa fresca en el tratamiento con Rhizobium en comparación con el fertilizante químico nitrato de potasio (KNO_3 al 0,1%). Estos hallazgos sugieren que la siembra inoculada con Rhizobium y *Azotobacter* podría ser una alternativa viable y ecológica a los fertilizantes sintéticos en el cultivo del frijol caupí.

Ponce (2020) en su tesis **titulada**: “Aplicación de enmiendas para la recuperación de suelos degradados y efecto en el rendimiento del frijol (*Vigna Unguiculata*) en la microcuenca del Monzón” Universidad Nacional Agraria de la Selva. El estudio se enfocó en analizar el impacto de la gallinaza y las enmiendas químicas en el aprovechamiento de suelos degradados y en el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata* L.) de la microcuenca de Monzón. Para este caso, se consideraba que la degradación del suelo era un proceso a corto plazo muy poco factible de ser revertido, sin embargo, se trató de recuperar mediante la aplicación

de enmiendas orgánicas (gallinaza) y algunas enmiendas químicas, como dolomita, roca fosfórica y yeso agrícola. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial ($2A \times 6B + 1C$) en cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que los tratamientos con enmiendas químicas no solo superaron al testigo, sino que también mejoraron de forma significativa las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Del mismo modo, también se evidenció que el tratamiento de gallinaza 10 Tm/ha con enmiendas químicas, sobre todo con dolomita (2 TM/ha), tuvo un mejor desempeño en la mayoría de los parámetros biométricos del cultivo, logrando además mayor rentabilidad, donde la relación beneficio/costo (B/C) fue de 1.94, es decir, por cada sol invertido, se lograba una ganancia de 0.94 soles, lo que evidencia la factibilidad económica y agronómica del tratamiento.

Hualcas (2020) en su tesis **titulada**: “Evaluación de las propiedades de un suelo degradado por efecto de la aplicación de enmiendas en el establecimiento del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Localidad de Río Espino”. Universidad Nacional Agraria de la Selva. El objetivo del presente estudio fue evaluar los cambios que experimentó un suelo degradado a partir del décimo mes de la incorporación de enmiendas en el cultivo de cacao, en la localidad de Río Espino. Para ello, el ensayo se llevó a cabo mediante un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial $2A \times 2B \times 2C$ y tres repeticiones, en el que se probaron dos dosis cada una de dolomita (0 y 2 tn/ha), roca fosfórica (150 y 300 kg de P_2O_5) y materia orgánica (6 y 9 por ciento). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los resultados muestran que el incremento en la altura de los cacaoteros estuvo estrechamente relacionado con avances en la física del suelo, como el aumento de la porosidad, la disminución de la densidad aparente, la mejora en la infiltración y la menor resistencia a la penetración. Se concluyó que la adición de enmiendas eleva el pH y la capacidad de retención de cationes (CIC), y, al estimular la actividad

biológica del suelo, particularmente la de artrópodos, facilita la liberación gradual de nutrientes.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Cervantes (2022), en su investigación **titulada**: “Efecto del biochar de molle (*Schinus Molle* L.) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea Mays* L.)”. Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto del biochar de *Schinus molle* L. en la recuperación de suelos degradados utilizando maíz (*Zea mays* L.) como cultivo bioindicador. El enfoque consistió en una metodología experimental. Se dispusieron cajas de cultivo que contenían 20 kg de suelo degradado en tres grupos de tratamiento recibiendo biochar en dosis del 5%, 15% y 30%, con cinco réplicas cada uno. Después de 15 días de aplicación de biochar, se sembraron semillas de maíz pregerminadas y se evaluaron durante 60 días. Los resultados mostraron que el biochar alteró la textura del suelo de arcilla a arcilla limosa y finalmente a limo arenoso. El pH ácido inicialmente de 4.28 se equilibró con la aplicación del 5% de biochar, pero se volvió demasiado alcalino con adiciones del 15% y 30%. La materia orgánica, que era baja para empezar, alcanzó niveles intermedios con dosis más altas, mientras que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) mejoró ligeramente, permaneciendo baja en general. El rendimiento óptimo del maíz se observó con el 15% de biochar. Esto nos permite concluir que este insumo es útil para mejorar suelos degradados, particularmente por su aporte de materia orgánica, su impacto en el pH y su influencia en el crecimiento de las plantas.

Bonifacio (2021) en su investigación **titulada**: “Efecto de dos tipos de abonos orgánicos sobre las propiedades físicas, químicas en suelo degradado y su influencia en el crecimiento del paca (*Inga Feuillei*)”. Universidad de Huánuco. Estableciendo como base dos tipos de abonos orgánicos, en esta investigación se aborda la alteración de las características físicas y químicas de un suelo degradado situado en el

Centro Poblado Supte San Jorge. Llevamos a cabo un diseño experimental usando ANOVA con un nivel de significancia del 95%. Luego, se llevó a cabo la prueba de Tukey con el mismo nivel de significancia para encontrar diferencias entre tratamientos. Se evaluaron tres tratamientos: T0 (testigo), T1 (compost) y T2 (biofertilizante), con tres réplicas por bloque. Se midió la acción de los tratamientos sobre las características físicas del suelo: su textura y temperatura, sus parámetros químicos: materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo y potasio, así como sobre la altura y diámetro del tallo del paca (Inga feuillei). Los resultados indicaron que el tratamiento T2 (biofertilizante) tuvo los efectos más pronunciados en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en el crecimiento de las plantas. Sin embargo, estas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas durante el período evaluado, manteniéndose constantes. Esto sugiere que, aunque hubo alguna tendencia positiva, estadísticamente no se puede tener certeza sobre la mejora debido a los tratamientos. Para el crecimiento de Inga feuillei, la hipótesis del estudio se acepta parcialmente debido a la respuesta favorable en el crecimiento en altura, aunque no todos los parámetros fueron significativos. Las pruebas de laboratorio sobre suelo, agua y ecotoxicología demostraron que hubo una mejora, aunque no significativa, en las propiedades del suelo, lo que lleva a la conclusión de que los fertilizantes orgánicos tienen el potencial de ayudar a restaurar suelos degradados, pero requieren más tiempo o dosis para crear impactos que sean estadísticamente significativos.

Huanay (2022), en su investigación **titulada**: “Efecto de la mezcla de abonos orgánicos a partir de vermicompost, abono verde y gallinaza en la recuperación del suelo degradado”. Universidad de Huánuco. El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de la combinación de fertilizantes orgánicos, específicamente vermicompost, abono verde y gallinaza, en la restauración de suelos degradados en Cayhuayna Alta, Huánuco durante el año 2021. Se aplicó un enfoque cuantitativo a nivel explicativo, con un diseño basado en Bloques Completamente

Aleatorizados (BCRA) que tuvo cuatro tratamientos, uno como control, y cuatro repeticiones para un total de dieciséis unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron: ST (control sin fertilizante); SVA (mezcla de vermicompost y abono verde); SAG (mezcla de abono verde y gallinaza); SVAG (mezcla de vermicompost, abono verde y gallinaza). Se realizó un muestreo de suelo antes de la aplicación de los fertilizantes así como después de la aplicación. El experimento se llevó a cabo entre abril y agosto de 2021. Los resultados indicaron que el tratamiento SAG tuvo el mayor efecto en las propiedades químicas del suelo, alcanzando altos niveles de fósforo (109 ppm) y potasio (718.75 ppm) disponibles, así como altas concentraciones de magnesio (2.585 meq/100g) y potasio intercambiable (1.605 meq/100g). El tratamiento SVA también mostró algunas mejoras, registrando un pH ligeramente alcalino (7.11), alto fósforo (40.95 ppm) y potasio (255.5 ppm), y una capacidad de intercambio catiónico moderadamente fértil (CIC) de 13.52 meq/100g. Por otro lado, el tratamiento SVAG mostró resultados similares a los anteriores, pero en menor medida que el SAG. El análisis estadístico utilizando ANOVA y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis confirmó que las mezclas de fertilizantes orgánicos aplicados cambiaron significativamente las propiedades químicas del suelo degradado, en particular en lo que respecta a pH, fósforo, potasio, calcio, magnesio y potasio intercambiable, así como CEC. En resumen, los fertilizantes orgánicos, particularmente la combinación de abono verde y gallinaza, proporcionaron la estrategia más efectiva para recuperar suelos degradados en la zona de estudio.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CALIDAD DEL SUELO

Así, un suelo de calidad se caracteriza por su capacidad para sustentar cultivos productivos y vigorosos, con un impacto ambiental mínimo. Un suelo saludable, por su parte, dispone de atributos que le

confieren la capacidad de autorregularse y resistir perturbaciones tanto naturales, como condiciones climáticas severas, o antrópicas. Esta funcionalidad estable ayuda a mantener un equilibrio que favorece el desarrollo óptimo de los cultivos, así como un sustento agroeconómico (Karlen et al. 1992).

Para evaluar los suelos correctamente, deben analizarse sus propiedades físicas, químicas y, especialmente, biológicas. La biología es importante, no solo porque los microorganismos y los invertebrados que viven en el suelo ayudan en la descomposición de la materia orgánica y en el ciclo de nutrientes, sino también porque mejoran la capacidad del suelo para resistir y adaptarse a estreses tanto naturales como inducidos por el ser humano. En este sentido, el carbono es un elemento importante porque es la parte principal de la materia orgánica y influye en la mayoría de las propiedades que determinan la calidad del suelo y su función en el ciclo de nutrientes (Parr et al. 1992).

2.2.2. SUELO

Como lo afirma el INIA (2015), el suelo se describe como la capa superior de la Tierra que sirve como un pedestal natural para la flora, la fauna e incluso para algunos microorganismos. Eruditos de renombre han afirmado que el suelo no solo actúa como un reservorio de nutrientes para las plantas, sino que también desempeña un papel importante en la recolección y distribución de la lluvia, proporcionando así agua a las plantas cuando es necesario.

Los horizontes del suelo se construyen y desarrollan en capas paralelas al relieve, cada una de ellas compuesta de elementos físico-químicos visibles distintos. Toda esta secuencia de capas constituye el perfil del suelo, el cual puede observarse claramente en cortes naturales como cárcavas, o en excavaciones artificiales, tales como las realizadas para el trazado de caminos.

Horizonte A: Se trata de la capa más superficial del suelo, en la que se concentran raíces, organismos vivos e humus, así como minerales

esenciales para el desarrollo vegetal. En esta capa el humus está parcialmente descompuesto y se encuentra materia orgánica.

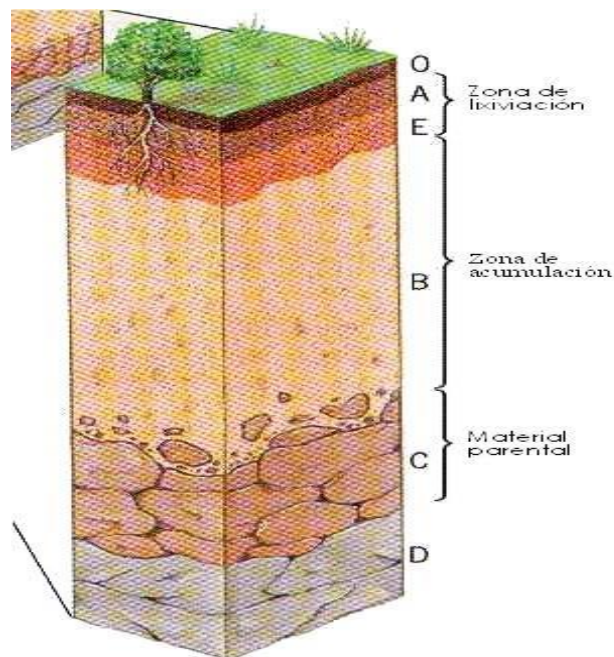
Horizonte B: Corresponde al subsuelo y se conoce como zona de acumulación. Aquí se deposita arcilla, óxidos de hierro y aluminio, compuestos húmicos, y además, cationes lixiviados. Todo esto le confiere una composición más concentrada al horizonte inferior.

Horizonte C: Está constituido por roca y su sustrato en descomposición, el cual contiene fragmentos de roca; además está el material parental en proceso de descomposición. Esta sección da entre el suelo desarrollado carbonatos, sílice y yeso entre otros, culminando en roca madre.

Horizonte D: Representa el sustrato de la tierra que está compuesta de roca sólida. Estas capas son difíciles de penetrar a excepción de las fracturas que existan dentro de este formando el terreno que estos sostienen.

Figura 1

Horizontes del suelo



Nota. Los suelos tienen una serie de estratos u horizontes que marcan desde la descomposición de las rocas hasta la acumulación de materia orgánica que dificulta la formación de no suelo.

2.2.3. PROPIEDAD FÍSICA DEL SUELO

El tamaño y la proporción de las partículas del suelo tienen un efecto directo en las propiedades físicas del suelo, como su textura, estructura, porosidad y color. Según la textura, el suelo se puede dividir en tres tipos primarios: arenoso, limoso y Arcilloso. Los suelos arenosos se caracterizan por partículas gruesas con una mayor capacidad de drenaje, pero menor retención de nutrientes. Los suelos arcillosos, por otro lado, tienen partículas finas con alta capacidad para retener agua y nutrientes, pero son menos permeables. Por último, los suelos limosos tienen una textura intermedia; buena retención tanto de agua como de nutrientes, pero pueden compactarse fácilmente (Ponce, 2020).

2.2.4. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Las características químicas del suelo están íntimamente ligadas a la capacidad del terreno para retener agua y ofrecer los nutrientes que las plantas necesitan, así como a la calidad general del medio edáfico. Entre esas propiedades destaca el pH, que determina en qué grado los elementos nutritivos son accesibles a las raíces; la materia orgánica, responsable de enriquecer la fertilidad y dar estructura estable al sustrato; la conductividad eléctrica, medida que refleja la abundancia de sales solubles; y la concentración de fósforo (P), nitrógeno (N) y potasio (K), tres macronutrientes que intervienen en casi todos los procesos vitales de los vegetales (Ponce, 2020).

2.2.5. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO

Guillermo y Francisco (2011), la presencia y el desarrollo de organismos en el suelo indican claramente la calidad del ecosistema del suelo, sugiriendo lo que se puede hacer en un entorno así. Estos organismos no solo reflejan las condiciones ambientales que los originaron, sino también los desafíos que surgen del desarrollo de una cultura determinada. Aún hay pocos estudios relacionados con la arqueología y la etnología. Con esto en mente, cabe señalar que

exponentes de la mayoría de las especies animales se han adaptado en suelos dominados por invertebrados, que contribuyen significativamente al cambiar profundamente las propiedades físicas de los suelos. Debido a esto, la descomposición de la materia orgánica ayuda a fertilizar el suelo.

2.2.6. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO

Guillermo y Francisco, (2011), la biodiversidad, tanto en la presencia como en el desarrollo de organismos vivos, sirve como un buen indicador de la salud del medio ambiente y de su ecosistema. Muchas veces, solo hace falta mirar un poco para observar la vida presente en el suelo para evaluar su calidad y, por consiguiente, los tipos de actividades agrícolas o ecológicas que se podrían practicar en la zona. Puede ayudar a diagnosticar tanto las condiciones que lo han originado como los posibles problemas al momento de sugerir implantar un cultivo determinado. En el suelo se encuentra representada una parte significativa de los animales, particularmente invertebrados, que son los más abundantes. Los invertebrados, entre otros, cumplen con funciones de enriquecer el suelo por medio de transformar y descomponer la materia orgánica, además de cambiar algunas propiedades físicas del suelo.

2.2.7. DEGRADACIÓN DEL SUELO

Guillermo y Francisco (2011) así como la FAO (2022) definen la degradación del suelo como un deterioro en la salud de ese recurso, deterioro que, a su vez, disminuye la habilidad del suelo para producir bienes y ofrecer servicios a los organismos que de él dependen. Dicho de otro modo, cuando un terreno sufre degradación, su estado se ve tan comprometido que el ecosistema pierde capacidad para ejecutar funciones normales y dejar a las comunidades los beneficios que antes repartía sin problemas.

2.2.8. BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación juega un papel importante en la rehabilitación de áreas afectadas por contaminación difusa y puntual, como el exceso de fertilizantes nitrogenados y fosforados y residuos de pesticidas. El desarrollo progresivo de las tierras agrícolas requiere la eliminación de elementos potencialmente tóxicos que se filtran en el suelo, como los metales pesados y los productos químicos orgánicos (Kashmanian et al., 2000).

La biorremediación es una estrategia ambiental en la que se emplean microorganismos capaces de descomponer contaminantes tóxicos que han llegado al suelo o al agua. Este enfoque ha demostrado ser útil ante problemas variados, desde vertidos de crudo en costas hasta desprevenidos acuíferos subterráneos. En su núcleo, muchos de estos procesos dependen de reacciones redox: los compuestos en forma reducida se oxidan mientras que los que ya están oxidados sufren una reducción. Por esta razón, los técnicos suelen utilizar biorremediación para atacar mezclas que incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos, petróleo, pesticidas, clorofenoles, ciertos metales pesados, colorantes y sulfatos (Darwin Bioprospection, 2020).

Figura 2

La biorremediación



Nota. El proceso mediante el cual se obtienen microorganismos, plantas, hongos o enzimas derivadas de los mismos (Edwards & Someshwar, Kashmanian et al., 2000).

La biorremediación abarca métodos que provienen de la naturaleza y que tienen como objetivo limpiar, recuperar y restaurar el estado de un suelo dañado utilizando organismos saprófitos y microorganismos que coexisten en las capas de superficie y subsuperficie del suelo (Iturbe, 2010).

Existen dos tipos principales de biorremediación:

La bioestimulación: La biorremediación puede implicar la adición de nutrientes que promuevan o estimulen la actividad de microorganismos indígenas en ambientes especialmente acondicionados. La bioaumentación, por otro lado, se basa en la introducción de microorganismos específicos capaces de acelerar la degradación de ciertos contaminantes.

Bioaumentación: Consiste en restringir los nutrientes para apoyar o estimular los microbios nativos presentes en un entorno habilitado para la biorremediación.

Ventajas

- En comparación con los tratamientos físico-químicos tradicionales, la biorremediación suele representar una opción más económica.
- Las metodologías aplicadas son generalmente simples y de fácil implementación.
- Es una tecnología de bajo impacto, ya que no produce residuos adicionales y, por tanto, resulta respetuosa con el medio ambiente.
- Su ejecución requiere un bajo consumo energético.
- Puede emplearse como una técnica complementaria a otros métodos de remediación ambiental.

Desventajas

- En relación con otras alternativas de tratamiento, los procesos biológicos suelen demandar un mayor tiempo para alcanzar resultados eficaces.
- Existe cierta incertidumbre respecto al comportamiento total del proceso, lo que dificulta prever su efectividad completa.
- La eliminación total de los contaminantes no siempre es posible; generalmente, persiste una pequeña cantidad residual en el entorno.
- En escenarios con altas concentraciones de contaminantes, este tipo de tratamiento puede no ser viable.

2.2.9. RHIZOBIUM

Rhizobium es un género de bacterias del suelo, Gram-negativas, conocido por su habilidad para fijar nitrógeno atmosférico. Estos microorganismos forman parte del grupo más amplio de los rizobios y establecen una simbiosis con varias plantas, sobre todo leguminosas. La relación empieza en las raíces, donde la planta libera lectinas que inician el proceso de infección. Tras esta interacción, las bacterias ofrecen nitrógeno que la planta usa para crecer, y a cambio ellas obtienen un hábitat seguro y nutrientes.

Características de Rhizobium

Las bacterias del género *Rhizobium* viven libremente en el suelo, sobre todo en la zona que rodea las raíces de las plantas, donde se alimentan de materia orgánica en descomposición. Dentro de estas células hay plásmidos que cargan los genes necesarios para iniciar la infección en las raíces y para formar los nódulos que les sirven de hogar. Se trata de bacilos gramnegativos, móviles, aerobios y de organización procariota. Su motilidad se comprueba con la clásica prueba del anillo amarillo en el medio de cultivo, además son beta-hemolíticos porque son capaces de descomponer la hemoglobina presente en el medio. Aunque toleran varias temperaturas, crecen mejor alrededor de 25 °C (77 °F) y

su tamaño varía entre 0,5 y 0,8 por 1,2 a 3,0 μm , con flagelos que les permiten avanzar en el agua del suelo (Cuadrado et al., 2009).

Tabla 2

Taxonomía de Rhizobium

TAXONOMÍA
Dominio: Bacteria
Filo: Proteobacteria
Clase: Alphaproteobacteria
Orden: Rhizobiales
Familia: Rhizobiaceae
Género: Rhizobium
Tipo de especie: Rhizobium leguminosarum

Nota. Cuadrado et al. (2009).

2.2.10. LEGUMINOSAS REMEDIADORAS

Las leguminosas, miembros de la familia Fabaceae, destacan por su capacidad de transformar nitrógeno atmosférico en una forma utilizable, lo que les permite disminuir la necesidad de fertilizantes nitrogenados externos (González, 2018).

Esta fijación ocurre principalmente mediante dos tipos de simbiosis: la primera implica a las leguminosas con bacterias del grupo Rhizobium y géneros afines como Bradyrhizobium, Synorhizobium, Azorhizobium y Mesorhizobium, que se agrupan bajo la etiqueta general de rizobios; la segunda involucra plantas actinorrizas y filamentos que pertenecen al género Frankia, un grupo cercano a las actinobacterias (Ferrari & Wall, 2004).

Frijol de palo (Cajanus cajan)

Se considera una especie con capacidad de favorecer el mejoramiento del suelo, originan la fijación del nitrógeno del aire que realizan las bacterias de sus raíces.

Tabla 3

Taxonomía del Frijol de palo (Cajanus cajan)

TAXONOMÍA
Dominio: Eucariota
Reino: Plantae
Clase: Magnoliopsida
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae(leguminosae)
Género: Cajanus
Tipo de especie: <i>Cajanus cajan</i>

Nota. Frijol de palo (*Cajanus cajan*)

Se considera una especie con capacidad que son ocupados por bacterias del género *Rhizobioum*, que fijan nitrógeno atmosférico.

Tabla 4

Taxonomía de frijol de chaucha (Phaseolus vulgaris)

TAXONOMÍA
Dominio: Eucariota
Reino: Plantae
Clase: Angiospermae
Orden: Fabales
Familia: Fabaceae(leguminosae)
Género: Phaseolus
Tipo de especie: <i>Phaseolus vulgaris</i>

Nota. Frijol de chaucha (*Phaseolus vulgaris*)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Suelo

“Es la capa superior desde la superficie hasta las profundidades donde las raíces extraen alimento y agua para ayudar a las plantas a crecer. Los minerales disueltos del lecho rocoso se mezclan con materia orgánica (desechos de plantas y animales), agua, oxígeno y organismos vivos forman el suelo” (Moreno et al., 2010).

Medio ambiente

El medio ambiente engloba todos los elementos y condiciones que rodean a un ser vivo y que, de manera directa o indirecta, influyen en su crecimiento y funcionamiento cotidiano (Encinas y Ibarra, 2000).

Degradación

La degradación se refiere al deterioro que sufren tanto los materiales creados por el hombre como los componentes naturales, un cambio que empeora su calidad original y limita sus funciones (Encinas y Ibarra, 2000).

Planificación del uso de tierras

La planificación del uso de tierras es un procedimiento ordenado en el que se examinan las opciones disponibles y se decide la manera más conveniente de disponer del suelo, con el fin de lograr un aprovechamiento eficaz y respetuoso con el medio ambiente (Encinas y Ibarra, 2000).

Biorremediación

“Es el empleo de microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para recuperar un ambiente alterado por contaminantes”.

Fijación biológica de nitrógeno

“Hay un grupo de plantas que mejoran la calidad y la fertilidad del suelo de manera natural. Las plantas fijadoras de nitrógeno albergan bacterias y hongos capaces de convertir el nitrógeno del aire en material disponible para las plantas. Los árboles fijadores de nitrógeno -leguminosas y actinorrizas- establecen una asociación simbiótica con microorganismos fijadores de nitrógeno del suelo de los géneros *Rhizobium* y *Frankia* respectivamente”.

Rhizobium

Rhizobium es un género bacteriano común en suelos agrícolas y naturales, famoso sobre todo por su asociación beneficiosa con las leguminosas. A través de esta simbiosis, las *Rhizobium* fijan nitrógeno atmosférico, proporcionando a las plantas un suministro duradero de este

nutriente esencial y mejorando la disponibilidad de carbono y fósforo en el ecosistema.

Frijol de palo (*Cajanus cajan*)

Según Cedano (2006), esta leguminosa arbustiva puede crecer a ritmo determinado o indeterminado, manteniéndose perenne. Sus hojas son trifoliadas, alternas y se colocan en espiral a lo largo del tallo. Normalmente mide entre uno y cuatro metros, con un follaje que oscila entre verde amarillento y verde púrpura. Fuera de la fase productiva, el tallo se lignifica y adquiere dureza. Oliden (1995) señala que prospera en suelos arenosos de playa, arcillosos o metamórficos, siempre que drenen bien. En el Perú, la planta se encuentra desde la costa hasta 2500 msnm.

Frijol de chaucha (*Phaseolus vulgaris*)

Según Mandujano (2008), esta planta crece como un arbusto de forma definitiva, alcanzando entre 40 y 45 cm de altura. Sus flores oscilan entre el blanco y el lila, las vainas se presentan verdes con estrías moradas y los granos son rojos decorados con manchas crema. La floración empieza alrededor de 45 días tras la siembra y la madurez se produce de manera uniforme a partir de los 100 días. Muestra una notable versatilidad ambiental, ya que puede cultivarse a alturas que van desde los 100 hasta 2500 msnm. Además, tolera moderadamente los suelos ácidos, especialmente aquellos cuyo pH oscila entre 5,5 y 6,5. En los valles interandinos su siembra puede llevarse a cabo durante todo el año.

Degradación

De acuerdo con la ODPa (2013), la degradación del suelo se entiende como la disminución de propiedades claves, lo cual repercute de forma adversa en su desempeño productivo a nivel físico, químico y biológico.

Parámetro

“Elemento de medición, de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo que define su calidad y puede encontrarse regulado en normas y

reglamentos de estándares de calidad ambiental, nacionales e internacionales” (MINAM, 2013).

Estándar de calidad ambiental (ECA)

Según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2013), un indicador de calidad del suelo se define como cualquier parámetro físico, químico o biológico que facilite la evaluación del estado del suelo. Tales indicadores suelen incorporarse en las normas y reglamentos relativos a los estándares de calidad ambiental, tanto a escala nacional como internacional.

Guía para muestreo de suelo – RM N°085-2014-MINAM

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2013), el valor referencial ambiental es la cifra que señala cuánta cantidad de metales, productos químicos o agentes biológicos se encuentran en el aire, el agua o el suelo. Este criterio se fija partiendo de la situación actual del ecosistema receptor y sirve para valorar si esas concentraciones ponen en peligro la salud de las personas o el entorno natural.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.

- **HA:** La eficacia del *Rhizobium* más las leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) tienen igual eficacia en la recuperación de suelos degradados por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **HO:** La eficacia del *Rhizobium* más las leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) tienen diferente eficacia en la recuperación de suelos degradados por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- **HA1:** Las propiedades físicas del suelo varían después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **H01:** Las propiedades físicas del suelo no varían después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **HA2:** Las propiedades químicas del suelo varían después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **H02:** Las propiedades químicas del suelo no varían después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **HA3:** Los porcentajes de metales pesados del suelo reducen significativamente después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **H03:** Los porcentajes de metales pesados del suelo no reducen significativamente después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.
- **HA4:** Las propiedades biológicas del suelo varían después de la evaluación con el Rhizobium aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.

- **H₀4:** Las propiedades biológicas del suelo no varían después de la evaluación con el *Rhizobium* aplicando dos variedades de frijol (chaucha y frijol de palo) por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, departamento Ucayali.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Biorremediación

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Recuperación de suelo

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Comparación del efecto de la biorremediación con Rhyzobium y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Tipo de variable
Variable independiente	Uso de organismos vivos como los microbios para eliminar contaminantes y toxinas del suelo y el agua.	Se realiza la biorremediación con Rhyzobium y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao.	Simbiosis	Rhyzobium + frijol chaucha Rhyzobium + frijol de palo	Nominal dicotómica
Variable dependiente	Niveles aceptables de salud y calidad del suelo, entendida como la capacidad de un suelo para mantener las funciones de productividad y de calidad ambiental y favorecer la salud vegetal y animal.	Mediciones que se realizan mediante las muestras de suelo antes y después de la biorremediación.	Propiedades Físicas Propiedades Químicas Propiedades Biológicas Metales pesados	textura m.o, pH - N P K Bacterias Hongos Plomo, cadmio Zinc	Numérica continua

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se clasifica como experimental porque el investigador altera deliberadamente las condiciones del entorno; es prospectivo porque las mediciones se realizarán después de iniciar el estudio; es longitudinal porque se tomarán datos en varios momentos en el tiempo; y es analítico porque se compararán diversas variables para definir los vínculos que existen entre ellas (Supo y Zacarías, 2020).

3.1.1. ENFOQUE

Se adoptó un enfoque cuantitativo porque se utilizaron instrumentos estadísticos para captar, organizar, procesar y analizar la información recolectada en la investigación.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El presente estudio es de nivel explicativo porque analiza el efecto de una variable sobre otra, indagando así la relación causal entre ellas.

3.1.3. DISEÑO

El enfoque metodológico que sigue este estudio es experimental, prospectivo, longitudinal y analítico. A continuación, el lector encontrará un diagrama que resume este diseño y lo hace más comprensible.

GE1: O1 — X1 — O2

GE2: O1 — X2 — O2

Donde: GE1: grupo operacional con Rhyzobium y frijol de palo.

GE2: grupo operacional con Rhyzobium y frijol de chaucha.

O1: Observación inicial

O2: Observación final

X1: Variedad de frijol de palo

X2: Variedad de frijol de chaucha

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El enfoque metodológico que emplea este estudio es experimental, prospectivo, longitudinal y analítico. A continuación, se ofrece una representación gráfica de este diseño en la imagen que sigue.

Tabla 6

Ubicación de las coordenadas de población en el área de estudio

Coordenadas del área de estudio	
Zona:	18 S
Coordenadas Este:	463758.773 m E
Coordenadas Norte.	9012293.881 m S

Nota. Coordenadas del área de estudio.

El total de muestra empleada fue de 30 kilogramos de suelo, cantidad que se distribuyó en ocho maceteros. Cuatro de estos maceteros se reservaron para estudiar el efecto del *Rhizobium* en simbiosis con la leguminosa *Phaseolus vulgaris* sobre la calidad del sustrato, y los otros cuatro se utilizaron para evaluar el mismo microorganismo asociado con *Cajanus cajan* bajo idénticas condiciones experimentales.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se usó la Guía de muestreo de suelos Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM y el D. S. N° 002-2013-MINAM.

Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC)

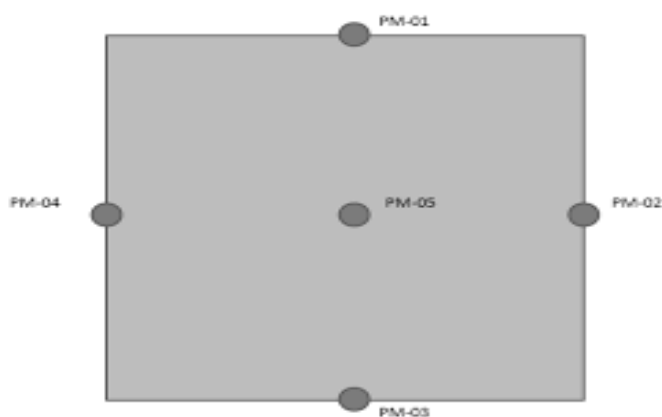
Según el enfoque del estudio y su objetivo principal, la recuperación de suelos dañados por el cultivo intensivo de cacao puede evaluarse mediante técnicas estadísticas. Estas herramientas permitirán determinar si la calidad del suelo, tras el proceso de biorremediación, se sitúa en los límites fijados por los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA Suelo) o si alcanza los niveles definidos en el Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA), tal como indica su guía técnica.

Para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m²

Las muestras se recolectaron en un sitio contaminado con forma cuadrada, estableciendo cinco puntos de muestreo: uno en cada vértice (un punto por cada lado) y uno adicional en el centro del polígono. En total, se obtuvieron cinco puntos de muestreo, que sirven como cinco muestras representativas del suelo.

Figura 3

Localización de puntos de muestreo en el área de excavación regular: forma de cuadrado



Nota. (MINAM, 2013).

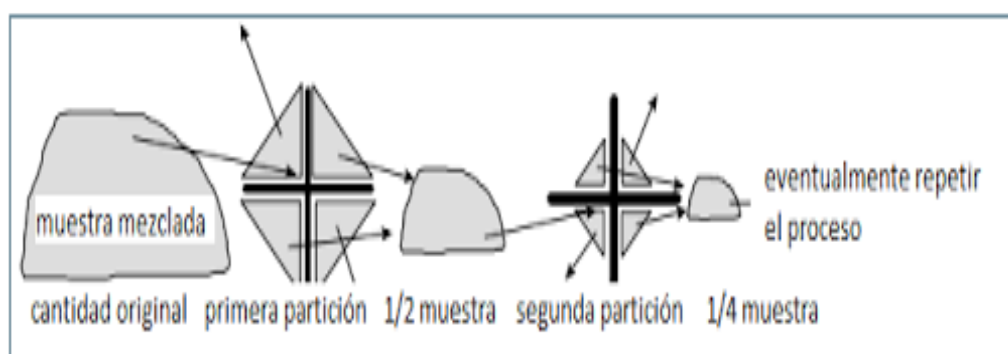
Para muestras superficiales

La calicata realizada alcanzó 30 cm de profundidad y fue excavada manualmente. Se eligió esta estrategia porque resulta sencilla, rápida y

poco costosa. Aunque el volumen de suelo que se puede recuperar es reducido, esa limitación no afectó los objetivos del trabajo. Para obtener las muestras compuestas, se levantaron varios sondeos dentro del área de estudio y, luego, se usó el cuarteo para homogenizarlas y dejar una por cada punto representativo.

Figura 4

Técnica del cuarteo para recolección de muestras *Técnica del cuarteo para recolección de muestras*



Nota. MINAM (2013).

Manejo de las muestras

Desde la recogida de las muestras hasta su llegada al laboratorio, resulta esencial atender una serie de pautas que conserven sus propiedades originales. Para lograrlo, hay que seguir sin excepción los protocolos que el propio laboratorio establece, ya que solo así se garantiza que las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo no cambien durante el traslado, el almacenamiento y la manipulación previa al análisis.

Materiales para guardar y transportar muestras

Las muestras de suelo se almacenaron en bolsas de polietileno de alta resistencia a la ruptura y dotadas de un cierre hermético que impidió la pérdida de humedad y redujo el riesgo de reacciones químicas indeseadas.

No se agregaron conservantes químicos; en cambio, las muestras se mantuvieron en un cooler a alrededor de 6 °C, temperatura que ayuda a preservar su integridad físico-química y biológica durante el traslado.

Cada porción se colocó en un recipiente de un kilogramo, volumen que limita la cantidad de aire en el envase y minimiza las alteraciones que podrían ocurrir durante el recorrido hasta el laboratorio.

Etiquetado

A cada recipiente se le colocó una etiqueta en la parte frontal, asegurándose de que fuera claramente visible y de que su tamaño no sobresaliera del contenedor. La etiqueta se fijó con cinta adhesiva resistente para que no se despegara durante el transporte.

La información en la etiqueta fue completa y específica: código de identificación, lugar y fecha de recolección, y el nombre del proyecto.

Los datos se anotaron con tinta indeleble en el mismo momento de tomar la muestra, de modo que permanecerían legibles y se evitarían confusiones o pérdidas posteriores.

Ficha de muestreo

El documento constituye una ficha técnica que organiza toda la información recolectada durante el trabajo de campo. En ella se anotan elementos esenciales, como la técnica de muestreo utilizada, las condiciones presentes en cada punto (ubicación exacta, características del terreno, clima y otros factores) y una descripción pormenorizada de las muestras recolectadas. Esta herramienta garantiza la trazabilidad del proceso y proporciona el respaldo necesario para analizar e interpretar luego los resultados obtenidos en el laboratorio.

Cadena de custodia

La hoja de custodia es un registro central que asegura la trazabilidad y el control de las muestras desde que se recolectan en el campo hasta que llegan al laboratorio. En ella se anotan varios datos

clave: el número único que asigna el laboratorio autorizado, el nombre del proyecto y el del responsable de la toma de muestras. También se consignan las coordenadas UTM del punto de recolección, así como la fecha y la hora precisas en que se extrajo cada muestra.

En páginas posteriores figuran el nombre del laboratorio que recibirá las muestras, los análisis pedidos, el número de frascos entregados y cualquier observación que pueda afectar los resultados. Además, en cada tramo del traslado hay que firmar la entrega, anotando los nombres del receptor y del portador junto con la fecha y la hora en que se produjo el traspaso.

El original de la hoja de custodia, más dos copias, debe viajar con los envases en todo momento, desde el punto de muestreo hasta la mesa del analista. Por último, al finalizar las pruebas el laboratorio tiene que devolver una copia firmada junto con los resultados, validada por todos los que intervinieron, y en particular por quien aceptó las muestras para su evaluación.

Condiciones de seguridad de las muestras

Para garantizar que las muestras permanecieran en condiciones óptimas durante toda la cadena de manejo, se implementaron varias medidas de seguridad estrictas. En primer lugar, no se hizo ningún pretratamiento sobre el terreno, y no se añadieron reactivos, conservantes ni otros químicos, de manera que conservaran sus propiedades originales. Las muestras fueron embaladas y fijadas de forma cuidadosa para evitar daños físicos durante el traslado.

El transporte se realizó en un enfriador de poliestireno expandido, comúnmente llamado Tecnopor, que mantuvo una temperatura adecuada a lo largo del viaje y ayudó a preservar cada muestra. Asimismo, se respetó el plazo máximo de veinticuatro horas entre la recolección de las muestras y su llegada al laboratorio, tal como lo indican las pautas técnicas.

Durante la manipulación en el campo y en el laboratorio se usaron guantes, agua destilada, mascarillas y guardapolvos para prevenir cualquier contaminación o alteración de las muestras. Con estas precauciones, ninguna muestra debió ser descartada y todas llegaron al laboratorio con sus envases y sellos intactos.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se utilizarán tablas y gráficas producidas mediante análisis estadísticos, ya que su empleo es esencial para exponer los resultados de manera transparente y precisa. Cada figura se acompañará de un comentario técnico que guiará al lector en la lectura de los datos y en la identificación de vínculos significativos entre las variables estudiadas. La información recabada constituirá el fundamento sobre el que se edificará la discusión y, en última instancia, la elaboración de conclusiones coherentes y fundamentadas del trabajo.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos utilizados en esta investigación fueron recogidos durante un periodo de noventa días y los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en veinticinco días. Para procesar y analizar la información se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS, versión 25, que facilitó la organización y el examen de los datos mediante medidas de resumen como la media, mediana, moda, rango, desviación estándar y varianza.

Igualmente se usaron pruebas inferenciales alineadas con la hipótesis planteada en el estudio, de manera que cada procedimiento confirmara o rechazara formalmente la suposición inicial. Estas técnicas brindaron un marco riguroso para interpretar los resultados y sustentaron las conclusiones con evidencia cuantitativa sólida.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 7

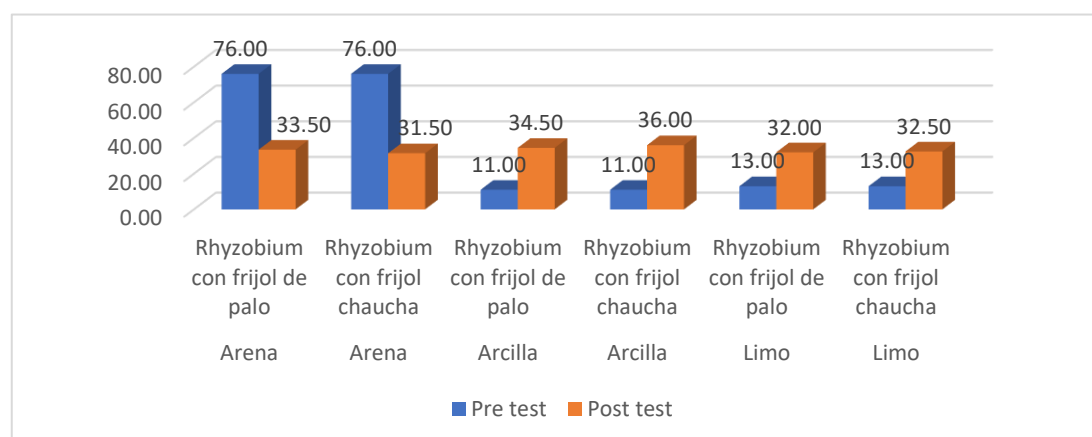
Análisis mecánico del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del Rhyzobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan)

			PRE		POST		
	Grupo		Media	Media	Error estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Arena (%)	Rhyzobium con frijol de palo		76.00	33.50	2.75	24.74	42.26
	Rhyzobium con frijol chaucha		76.00	31.50	1.50	26.73	36.27
Arcilla (%)	Rhyzobium con frijol de palo		11.00	34.50	1.50	29.73	39.27
	Rhyzobium con frijol chaucha		11.00	36.00	1.00	32.82	39.18
Limo (%)	Rhyzobium con frijol de palo		13.00	32.00	1.41	27.50	36.50
	Rhyzobium con frijol chaucha		13.00	32.50	0.96	29.45	35.55

Nota. Datos recolectados durante el estudio.

Figura 5

Diferencia de análisis mecánico del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan)



Nota. La diferencia de la arena después del tratamiento es notorio y más favorable con Rhyzobium más la leguminosa (Phaseolus vulgaris), arcilla y limo es más favorable con Rhyzobium más la leguminosa (Cajanus cajan).

Los resultados evidencian una mejora significativa en la textura del suelo degradado por el cultivo excesivo de cacao tras la aplicación de *Rhizobium* en combinación con leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*). Inicialmente, el suelo presentaba un alto porcentaje de arena (76 %) y bajos niveles de arcilla (11 %) y limo (13 %), lo que indicaba una estructura pobre y poca capacidad de retención de agua y nutrientes. Después del tratamiento, se observó una reducción sustancial en el contenido de arena, alcanzando valores de 33.50 % y 31.50 % para *Cajanus cajan* y *Phaseolus vulgaris*, respectivamente. En contraste, los niveles de arcilla aumentaron significativamente, con valores finales de 34.50 % y 36.00 %, respectivamente, lo que sugiere una mejora en la capacidad del suelo para retener humedad y favorecer la actividad biológica. De igual manera, el contenido de limo mostró un incremento notable, alcanzando 32.00 % y 32.50 %, lo que contribuye a una mayor estabilidad estructural del suelo. Estos cambios reflejan el efecto positivo de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas en la recuperación de suelos degradados, promoviendo una estructura más equilibrada y apta para la agricultura sostenible.

Tabla 8

Propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del Rhizobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan).

		Pre test		Post test		
	Grupo	Media	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
pH	Rhizobium con frijol de palo	4.17	5.34	0.05	5.18	5.50
pH	Rhizobium con frijol chaucha	4.17	5.45	0.02	5.37	5.53
CE	Rhizobium con frijol de palo	0.22	0.18	0.01	0.15	0.21
CE	Rhizobium con frijol chaucha	0.22	0.21	0.01	0.17	0.24
MO	Rhizobium con frijol de palo	1.5	3.47	0.34	2.37	4.56
MO	Rhizobium con	1.5	4.11	0.53	2.42	5.79

		Pre test		Post test		
	Grupo	Media	Media	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
	frijol chaucha					
N	Rhizobium con frijol de palo	0.08	0.18	0.02	0.12	0.23
N	Rhizobium con frijol chaucha	0.08	0.21	0.03	0.12	0.29
C	Rhizobium con frijol de palo	0.87	2.01	0.20	1.38	2.65
C	Rhizobium con frijol chaucha	0.87	2.38	0.31	1.40	3.36
P	Rhizobium con frijol de palo	13.14	2.37	0.76	-0.07	4.80
P	Rhizobium con frijol chaucha	13.14	4.34	0.82	1.74	6.93
K2O	Rhizobium con frijol de palo	45.37	177.70	24.50	99.74	255.65
K2O	Rhizobium con frijol chaucha	45.37	209.55	17.35	154.34	264.77

Nota. Elaboración propia a partir de la medición y análisis realizados con la biorremediación.

Los resultados muestran que la biorremediación con Rhizobium y leguminosas mejoró significativamente las propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao. El pH aumentó de 4.17 a 5.34 con *Cajanus cajan* y a 5.45 con *Phaseolus vulgaris*, reduciendo la acidez del suelo. La materia orgánica se incrementó de 1.5 % a 3.47 % y 4.11 %, respectivamente, favoreciendo la fertilidad. El nitrógeno pasó de 0.08 % a 0.18 % y 0.21 %, y el carbono de 0.87 % a 2.01 % y 2.38 %, lo que mejora la retención de nutrientes. Aunque el fósforo disminuyó de 13.14 mg/kg a 2.37 mg/kg y 4.34 mg/kg, el potasio disponible aumentó significativamente de 45.37 mg/kg a 177.70 mg/kg y 209.55 mg/kg, fortaleciendo la nutrición vegetal. La conductividad eléctrica mostró una leve reducción, pasando de 0.22 dS/m a 0.18 dS/m y 0.21 dS/m,

indicando menor salinidad. Estos cambios reflejan una recuperación efectiva del suelo, haciéndolo más apto para cultivos sostenibles.

Tabla 9

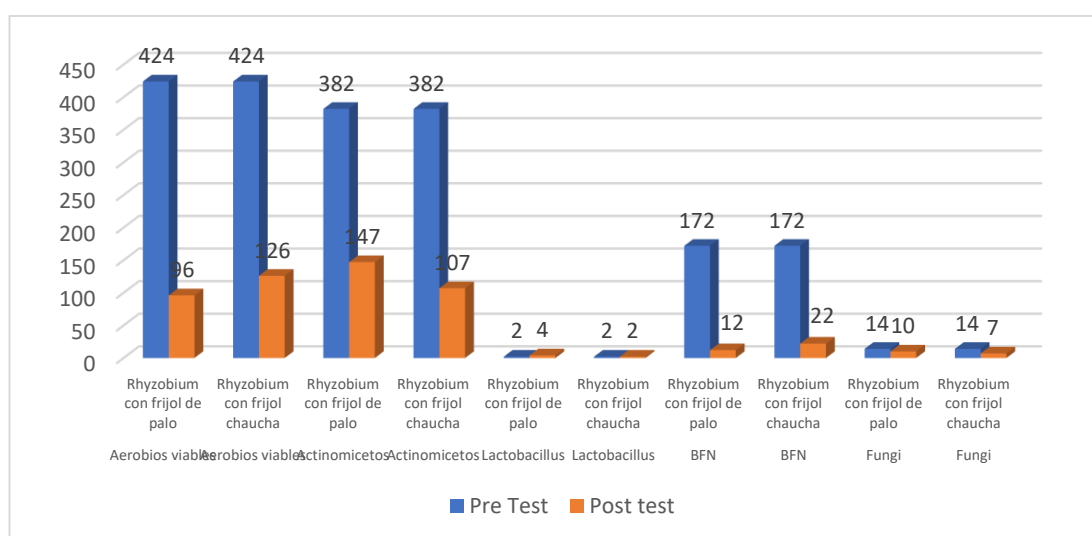
Propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del Rhizobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan).

		Pre test	Post test
Grupo		Media	Media
Aerobios viables	Rhizobium con frijol de palo	424	96
Aerobios viables	Rhizobium con frijol chaucha	424	126
Actinomicetos	Rhizobium con frijol de palo	382	147
Actinomicetos	Rhizobium con frijol chaucha	382	107
Lactobacillus	Rhizobium con frijol de palo	2	4
Lactobacillus	Rhizobium con frijol chaucha	2	2
BFN	Rhizobium con frijol de palo	172	12
BFN	Rhizobium con frijol chaucha	172	22
Fungí	Rhizobium con frijol de palo	14	10
Fungí	Rhizobium con frijol chaucha	14	7

Nota. Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas luego de la biorremediación.

Figura 6

Diferencia de propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del Rhizobium y leguminosas (Phaseolus vulgaris) y (Cajanus cajan).



Nota. Los resultados indican que *el Rhizobium y leguminosa (Cajanus cajan)*. Ha demostrado una mayor remoción en la biorremediación del suelo.

Los resultados reflejan cambios significativos en el microbiota del suelo tras la aplicación de *Rhizobium* y leguminosas, evidenciando un proceso de estabilización biológica. La cantidad de aerobios viables disminuyó de 424 a 96 y 126, lo que sugiere una reducción de microorganismos oportunistas presentes en suelos degradados. Los actinomicetos, esenciales para la descomposición de materia orgánica, se redujeron de 382 a 147 y 107, posiblemente debido a la competencia microbiana. Los *Lactobacillus* aumentaron con *Cajanus cajan* (de 2 a 4) y se mantuvieron con *Phaseolus vulgaris* (en 2), indicando una ligera mejora en la actividad biológica benéfica. Las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) disminuyeron notablemente de 172 a 12 y 22, lo que puede deberse a la fijación del nitrógeno en el suelo. Finalmente, los hongos pasaron de 14 a 10 y 7, lo que sugiere un equilibrio en la comunidad microbiana. Estos cambios indican que la biorremediación promovió una transición hacia un suelo más estable y con mayor capacidad de regeneración.

Tabla 10

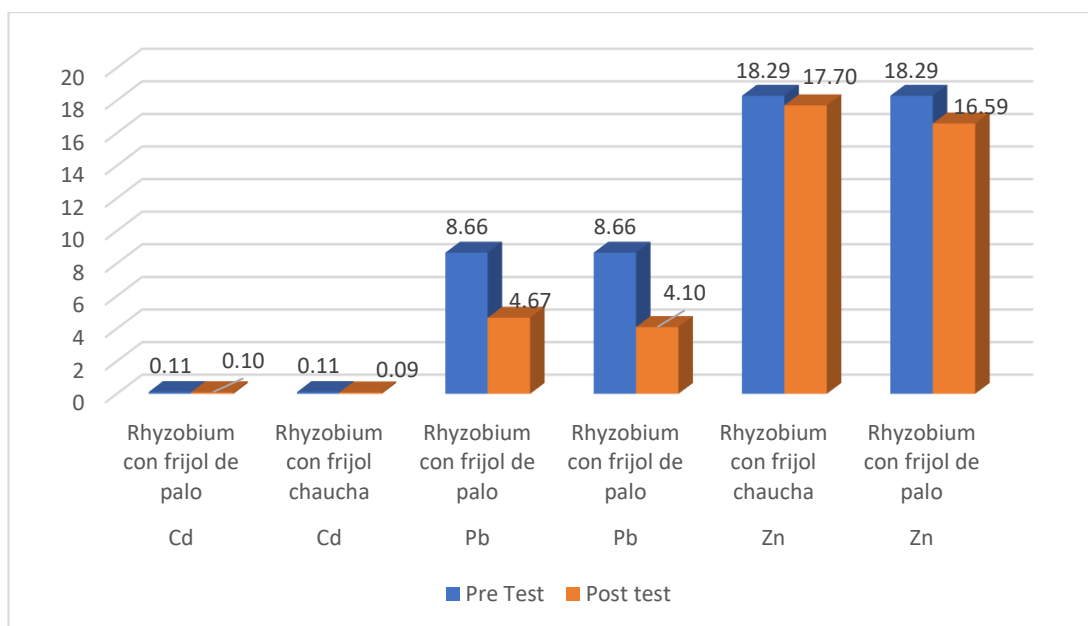
*Metales pesados del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*).*

		PRE		POST		
	Grupo	Media	Media	Error estándar	Límite Inferior	Límite Superior
Cadmio	Rhizobium con frijol de palo	0.11	0.1000	0.00000	0.1000	0.1000
	Rhizobium con frijol chaucha	0.11	0.0900	0.00000	0.0900	0.0900
Plomo	Rhizobium con frijol de palo	8.66	4.6700	0.00000	4.6700	4.6700
	Rhizobium con frijol chaucha	8.66	4.1000	0.00000	4.1000	4.1000
Zinc	Rhizobium con frijol de palo	18.29	17.7000	0.00000	17.7000	17.7000
	Rhizobium con frijol chaucha	18.29	16.5900	0.00000	16.5900	16.5900

Nota. Datos recolectados durante el estudio.

Figura 7

Comparación de la eficacia de Phaseolus vulgaris y Cajanus cajan en la reducción de cadmio, plomo y zinc en suelos contaminados



Nota. Es notorio que el Rhizobium y leguminosae (*Phaseolus vulgaris*), tuvo mejor efecto en remover el cadmio, plomo y zinc que el Rhizobium y leguminosae (*Cajanus cajan*).

Los resultados muestran una reducción en la concentración de metales pesados en el suelo tras la aplicación de Rhizobium y leguminosae, evidenciando el potencial de la biorremediación en la recuperación de suelos degradados. El cadmio disminuyó ligeramente de 0.11 mg/kg a 0.10 mg/kg con *Cajanus cajan* y a 0.09 mg/kg con *Phaseolus vulgaris*, indicando una reducción mínima pero consistente. El plomo experimentó una reducción significativa, pasando de 8.66 mg/kg a 4.67 mg/kg y 4.10 mg/kg, respectivamente, lo que sugiere una mayor absorción o inmovilización de este metal. En cuanto al zinc, su concentración se redujo de 18.29 mg/kg a 17.70 mg/kg con *Cajanus cajan* y a 16.59 mg/kg con *Phaseolus vulgaris*, mostrando una leve disminución. Estos resultados reflejan que el uso de leguminosae en combinación con Rhizobium favoreció la reducción de contaminantes en el suelo, mejorando su calidad para futuros cultivos.

Tabla 11*Prueba de normalidad en las mediciones*

Grupo		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Arena	Rhizobium con frijol de palo	0.939	4	0.650
	Rhizobium con frijol chaucha	0.849	4	0.224
Arcilla	Rhizobium con frijol de palo	0.849	4	0.224
Limo	Rhizobium con frijol de palo	0.827	4	0.161
	Rhizobium con frijol chaucha	0.863	4	0.272
pH	Rhizobium con frijol de palo	0.963	4	0.798
	Rhizobium con frijol chaucha	0.860	4	0.262
CE	Rhizobium con frijol de palo	0.791	4	0.086
	Rhizobium con frijol chaucha	0.827	4	0.161
MO	Rhizobium con frijol de palo	0.988	4	0.948
	Rhizobium con frijol chaucha	0.872	4	0.304
N	Rhizobium con frijol de palo	0.984	4	0.925
	Rhizobium con frijol chaucha	0.893	4	0.395
C	Rhizobium con frijol de palo	0.987	4	0.939
	Rhizobium con frijol chaucha	0.876	4	0.323
P	Rhizobium con frijol de palo	0.917	4	0.520
	Rhizobium con frijol chaucha	0.827	4	0.160
K₂O	Rhizobium con frijol de palo	0.989	4	0.950
	Rhizobium con frijol chaucha	0.907	4	0.468

Nota. Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas luego de la biorremediación.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk se aplicó a las mediciones de las propiedades del suelo para evaluar si los datos siguen una distribución normal. Los valores de significancia (Sig.) indican que la mayoría de las variables no presentan evidencia suficiente para rechazar la hipótesis de normalidad ($p > 0.05$), lo que sugiere que los datos siguen una distribución aproximadamente normal.

En particular, el contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), carbono (C) y óxido de potasio (K_2O) en ambos tratamientos mostraron altos valores de p (≥ 0.304), indicando una fuerte tendencia a la normalidad. Por

otro lado, la conductividad eléctrica (CE) en el grupo tratado con *Rhizobium* y *Cajanus cajan* obtuvo el menor valor ($p = 0.086$), lo que sugiere una posible desviación de la normalidad.

Estos resultados respaldan la aplicabilidad de pruebas estadísticas paramétricas para la mayoría de las mediciones, permitiendo un análisis más robusto del efecto de la biorremediación en la calidad del suelo.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

El estudio contempla el planteamiento de la siguiente hipótesis estadística:

Hi: El *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) tienen igual eficacia en la recuperación de suelos degradados por cultivos excesivos de cacao.

Nivel de significancia: 5% $=0.05$

Prueba estadística: t de Student para muestras independientes.

Cálculo del p-valor mediante la prueba estadística.

Tabla 12

Prueba de hipótesis con t de Student para muestras independientes

	Prueba de Levene de		Prueba t para la igualdad de medias				
	igualdad de		t	g	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de	
	F	Sig.				confianza de la	diferencia
						Inferior	Superior
Arena	4.000	0.092	0.638	6	0.547	-5.67306	9.67306
Arcilla	2.400	0.172	-0.832	6	0.437	-5.91123	2.91123
Limo	0.300	0.604	-0.293	6	0.780	-4.67890	3.67890
pH	0.564	0.481	-1.992	6	0.093	-0.24514	0.02514
CE	0.458	0.524	-2.144	6	0.076	-0.06424	0.00424
MO	0.597	0.469	-1.010	6	0.351	-2.18151	0.90651
N	0.659	0.448	-0.911	6	0.397	-0.11054	0.05054
C	0.625	0.459	-1.003	6	0.354	-1.26379	0.52879
P	0.282	0.615	-1.762	6	0.129	-4.70633	0.76633
K2O	0.560	0.482	-1.061	6	0.329	-105.30780	41.59480

Nota. elaboración propia partiendo de las mediciones y el procesamiento de los datos en la biorremediación.

La prueba t de Student para muestras independientes evaluó si existen diferencias significativas entre los tratamientos con *Rhizobium* y leguminosas en las propiedades del suelo degradado.

Los valores de p (Sig. bilateral) indican que ninguna de las variables presenta diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, las variables pH ($p = 0.093$) y conductividad eléctrica (CE, $p = 0.076$) muestran valores cercanos al umbral de significancia, lo que sugiere una posible tendencia a la diferencia entre tratamientos.

Además, la prueba de Levene confirma la homogeneidad de varianzas en todas las mediciones ($p > 0.05$), permitiendo asumir varianzas iguales en la comparación. Estos resultados sugieren que la biorremediación no generó cambios estadísticamente significativos en la composición del suelo, aunque

algunas variables podrían presentar efectos marginales que ameritan un análisis más detallado.

Tabla 13

Interpretación del efecto de la biorremediación sobre los indicadores físicos y metales pesados químicos y biológicos

Variedad de leguminosas	Indicador inicial	Interpretación	Indicador final	Interpretación
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Textura = Arena franca	= Sobrecarga con poca agua y se seca rápidamente	Textura = Franco arcilloso	Presenta bastante Arcilla considerando optimo en el suelo.
<i>Cajanus cajan</i>	Textura = Arena franca	= Sobrecarga con Poca agua y se seca rápidamente	Textura = Franco arcilloso	Presenta bastante arcilla considerando optimo en el suelo.
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Pb = 8.66 ppm	Dentro del rango del ECA para suelo agrícola	Pb = 4.10 ppm	Dentro del rango del ECA suelo
	Cd = 0.11 ppm	Dentro del rango del ECA para suelo agrícola	Cd = 0.09 ppm	Dentro del rango del ECA suelo
	Zn = 18.29 ppm	Dentro del rango del ECA para suelo agrícola	Zn= 16.59 ppm	Dentro del rango del ECA suelo
<i>Cajanus cajan</i>	Pb = 8.66 ppm	Dentro del rango del ECA para suelo agrícola	Pb = 4.67 ppm	Dentro del rango del ECA suelo
	Cd = 0.11 ppm	Dentro del rango del ECA para suelo agrícola	Cd = 0.10 ppm	Por debajo del ECA para suelo agrícola
	Zn = 18.29 ppm	Dentro del rango del ECA para suelo agrícola	Zn = 17.70 ppm	Por debajo del ECA para suelo agrícola

Nota. La interpretación es en base a lo establecido en el Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo aprobado por el D. S. N° 011-2017-MINAM.

Tabla 14

Interpretación del efecto de la biorremediación sobre los indicadores químicos del suelo

Variedad de leguminosas	Indicador inicial	Interpretación	Indicador final	Interpretación
<i>Phaseolus vulgaris</i>	pH = 4.17	Fuertemente ácido	pH = 5.45	Medianamente ácido
	Materia orgánica = 1.5 %	Media	Materia orgánica = 4.11 %	Alto
	Nitrógeno (N) = 0.08 ppm	Bajo	Nitrógeno (N) = 0.280 ppm	Medio
	Fósforo (P) = 13.14 ppm	Medio	Fósforo (P) = 6.006 ppm	Bajo
	Potasio (K) = 0.10 ppm	Bajo	Potasio (K) = 0.65 ppm	Bajo
<i>Cajanus cajan</i>	pH = 4.17	Fuertemente ácido	pH = 5.34	Medianamente Ácido alcalino
	Materia orgánica = 1.5 %	Medio	Materia orgánica = 3.47 %	Medio
	Nitrógeno (N) = 0.08 ppm	Bajo	Nitrógeno (N) = 0.215 ppm	Medio
	Fósforo (P) = 13.14 ppm	Medio	Fósforo (P) = 3.958 ppm	Bajo
	Potasio (K) = 0.10 ppm	Bajo	Potasio (K) = 0.55 ppm	Bajo

Nota. La interpretación es en base a lo establecido en Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo aprobado por el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

La biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas mejoró significativamente algunos indicadores químicos del suelo degradado por el cultivo de cacao.

Para *Phaseolus vulgaris*, el pH aumentó de 4.17 (fuertemente ácido) a 5.45 (medianamente ácido), lo que indica una reducción en la acidez del suelo. La materia orgánica pasó de 1.5% (medio) a 4.11% (alto), reflejando una

mayor acumulación de materia orgánica. Además, el nitrógeno se incrementó de 0.08 ppm (bajo) a 0.280 ppm (medio), mejorando su disponibilidad. Sin embargo, el fósforo disminuyó de 13.14 ppm (medio) a 6.006 ppm (bajo), posiblemente por fijación en el suelo, mientras que el potasio aumentó, pero permaneció en niveles bajos.

Para *Cajanus cajan*, el pH también mostró una mejora de 4.17 (fuertemente ácido) a 5.34 (medianamente ácido). La materia orgánica se incrementó moderadamente a 3.47% (medio). El nitrógeno aumentó de 0.08 ppm (bajo) a 0.215 ppm (medio), lo que sugiere un enriquecimiento del suelo. No obstante, el fósforo experimentó una mayor reducción que en *Phaseolus vulgaris*, pasando de 13.14 ppm (medio) a 3.958 ppm (bajo). El potasio también aumentó ligeramente, pero permaneció en niveles bajos.

En general, la biorremediación favoreció la reducción de la acidez del suelo y el aumento de la materia orgánica y nitrógeno, aunque se observó una disminución del fósforo en ambos tratamientos. Estos resultados indican que el uso de leguminosas puede mejorar algunas propiedades químicas del suelo, pero es necesario complementar con estrategias para mantener niveles adecuados de fósforo.

Tabla 15

Interpretación del efecto de la biorremediación sobre los indicadores biológicos del suelo

Variedades leguminosas	Indicador inicial	Interpretación	Indicador final	Interpretación
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Enumeración de microorganismos aerobios viables = 424×10^3 UFC/g	Alto	Enumeración de microorganismos aerobios viables = 126×10^3 UFC/g	Alto
	Enumeración de lactobacillus 2×10^3 UFC/g	Bajo	Enumeración de lactobacillus 2×10^3 UFC/g	Moderado
	Enumeración de Actinomicetos = 382×10^3 UFC/g	Alto	Enumeración de Actinomicetos = 107×10^2 UFC/g	Alto

Variedades leguminosas	Indicador inicial	Interpretación	Indicador final	Interpretación
	Enumeración de Fungí (Mohos y Levaduras) 14×10^3 UFC/g	Moderado	Enumeración de Fungí (Mohos y Levaduras) $= 7 \times 10^3$ UFC/g	Moderado
	Bacterias fijadoras de Nitrógeno 172×10^3 UFC/g	Alto	Bacterias fijadoras de Nitrógeno $= 22 \times 10^2$ UFC/g	Moderado
	Enumeración de microorganismos aerobios viables $= 424 \times 10^3$ UFC/g	Alto	Enumeración de microorganismos aerobios viables $= 96 \times 10^3$ UFC/g	Alto
Cajanus cajan	Enumeración de lactobacillus 2×10^3 UFC/g	Bajo	Enumeración de lactobacillus 4×10^3 UFC/g	Bajo
	Enumeración de Actinomicetos = 382×10^3 UFC/g	Alto	Enumeración de Actinomicetos $= 147 \times 10^2$ UFC/g	Alto
	Enumeración de Fungí (Mohos y Levaduras) $= 14 \times 10^3$ UFC/g	Moderado	Enumeración de Fungí (Mohos y Levaduras) $= 10 \times 10^3$ UFC/g	Moderado
	Bacterias Fijadoras de Nitrógeno $= 172 \times 10^3$ UFC/g	Alto	Bacterias fijadoras de Nitrógeno $= 12 \times 10^2$ UFC/g	Moderado

Nota. La interpretación es en base al laboratorio de microbiología general Tingo María UNAS.

La biorremediación con *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan* mantuvo un equilibrio microbiano en el suelo, evidenciando una reducción en la cantidad de microorganismos aerobios viables y bacterias fijadoras de nitrógeno, aunque en niveles que aún permiten la actividad biológica. En ambas especies, los actinomicetos y los hongos se mantuvieron estables en niveles altos y moderados, respectivamente, favoreciendo la descomposición de

materia orgánica. Además, la presencia de *Lactobacillus* aumentó, lo que sugiere una mejora en la biodiversidad microbiana. Estos resultados indican que la biorremediación contribuyó a la estabilidad biológica del suelo sin comprometer su funcionalidad ecológica.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con respecto al objetivo general: que fue comparar la biorremediación con *Rhizobium* y las leguminosas *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan* en suelo degradado por cultivo intensivo de cacao, los resultados muestran una disminución significativa de metales pesados en ambos tratamientos. Este hallazgo avala la eficacia de la estrategia biorremediadora y, además, se traduce en la mejora de las propiedades físicas del sustrato: la textura pasó a ser franco-arcillosa, con mayor contenido de arcilla, condición considerada ventajosa para el crecimiento de las plantas.

Respecto al comportamiento del pH, el suelo mostró un valor inicial de 4,17, que se clasifica como fuertemente ácido. Después de aplicar el tratamiento con *Phaseolus vulgaris*, el pH subió a 5,34, su nuevo estado encaja en la categoría de acidez medianamente ácida. Un patrón similar se vio con *Cajanus cajan*: la lectura alcanzó 5,45, también en el rango moderado de acidez. Estas cifras contrastan con las reportadas por Ponce (2020) en su tesis Aplicación de enmiendas para la recuperación de suelos degradados y efecto en el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*) en la microcuenca del Monzón, donde el pH final fue de 4,8, todavía dentro de la acidez severa. Por lo tanto, el presente estudio logró condiciones de recuperación más favorables en términos de acidez del suelo.

Los hallazgos de este estudio indican un incremento marcado en la fertilidad del suelo y una disminución apreciable de metales pesados tras la biorremediación con *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*. Antes del tratamiento, el suelo mostraba un contenido de materia orgánica del 1,5 por ciento, nitrógeno en 0,008 ppm, fósforo en 13,14 ppm y potasio en 0,10 ppm. Luego de la siembra de *Phaseolus vulgaris*, esos parámetros subieron a 4,11 por ciento de materia orgánica, 0,280 ppm de nitrógeno, 6,006 ppm de fósforo y 0,65 ppm de potasio. En contraste, el ensayo realizado con *Cajanus cajan* dio como resultado 3,47 por ciento de materia orgánica, 0,215 ppm de

nitrógeno, 3,958 ppm de fósforo y 0,55 ppm de potasio. Tal comportamiento demuestra un aporte considerable de materia orgánica y nitrógeno, típica de suelos con calidad agronómica media satisfactoria. En comparación, Cervantes (2022), en su investigación titulada "Efecto del biochar de molle (*Schinus Molle* L.) en la recuperación de suelos degradados usando como indicador el maíz (*Zea mays* L.)" reportó niveles de 2,49% de materia orgánica, 0,12 ppm de nitrógeno, 24,85 ppm de fósforo y 389,31 ppm de potasio, mostrando un enfoque distinto en las fuentes de enmienda, aunque presenta concentraciones de fósforo y potasio superiores a las de este estudio.

Con *Phaseolus vulgaris*, la biorremediación permitió reducir el plomo de 8,66 ppm a 4,10 ppm, el cadmio de 0,11 ppm a 0,09 ppm y el zinc de 18,29 ppm a 16,59 ppm. Con *Cajanus cajan*, los resultados fueron aún más pronunciados: el plomo descendió de 8,66 ppm a 1,375 ppm, el cadmio de 2,215 ppm a 0,64 ppm, y el zinc de 18,29 ppm a 17,70 ppm. Todas estas concentraciones finales se mantienen por debajo de los límites prescritos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, que fija los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, lo que valida la eficacia del proceso de biorremediación en la reducción de metales pesados y en la mejora general de la fertilidad edáfica.

Respecto al objetivo específico 01, que examinó las propiedades físicas del suelo antes y después de añadir *Rhizobium* junto a las leguminosas *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*, el análisis mecánico mostró que en ambos momentos el sustrato conservó una textura franco-arcillosa. Esta clasificación revela una cantidad notable de partículas arcillosas, rasgo que normalmente beneficia a la vegetación porque favorece la retención de agua y de nutrientes. Sin embargo, esa misma estructura exige vigilancia continua durante la biorremediación, dado que cambios en la agregación o en la aireación podrían volverse perjudiciales para el crecimiento de las especies inoculadas.

En el marco del objetivo específico 02, cuyo propósito fue caracterizar las propiedades químicas del suelo antes y después de la adición conjunta de *Rhizobium* y las leguminosas *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*, se registró un pH inicial de 4.17, clasificado como fuertemente ácido. Tras la intervención biorremediadora, el pH promedio aumentó a 5.45 en los ensayos con *Phaseolus vulgaris* y a 5.34 en los de *Cajanus cajan*, valores que se ubican dentro del rango de la acidez medianamente ácida. Aunque la intervención produjo un avance claro hacia una menor acidez, ninguno de los tratamientos consiguió que el pH alcanzara el umbral neutro.

En relación con la materia orgánica, ambos ensayos presentaron contenidos que se situaron en una categoría intermedia, circunstancia que a su vez está asociada a la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Sin embargo, la absorción efectiva de estos macronutrientes permanece restringida, debido a la contaminación residual por metales pesados, los cuales todavía interfieren con el sistema radicular y limitan el aprovechamiento pleno de los nutrientes. Estos datos sugieren que, aunque se constataron mejoras en las características químicas del horizonte edáfico, el suelo requiere pasos adicionales de recuperación para alcanzar cadenas óptimas de fertilidad agrícola.

Con respecto al objetivo específico 03, que busca comparar la concentración de metales pesados en suelo antes y después de inocular *Rhizobium* junto con las leguminosas *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*, los análisis muestran que el tratamiento biológico logra disminuir de forma notable los niveles de plomo (Pb), cadmio (Cd) y zinc (Zn). Tras el procedimiento, las concentraciones finales se colocan por debajo de los umbrales establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, aprobados por el Decreto Supremo N.º 011-2017-MIN.

Al contrastar ambas especies, el cultivo de *Phaseolus vulgaris* se destaca, pues remueve más Pb y, además, observa una caída más pronunciada de Cd y Zn que *Cajanus cajan*. Este resultado refuerza la idea de que *Phaseolus vulgaris* es un agente biorremediador más eficiente en este

contexto y, por ende, actúa como un aliado clave para restaurar la calidad del suelo contaminado.

Con respecto al objetivo específico 04, cuyo énfasis radica en caracterizar las propiedades biológicas del suelo antes y después de aplicar *Rhizobium* y las leguminosas *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan*, se documentó que la escasa materia orgánica inicial limitaba el crecimiento de la comunidad microbiana. Sin embargo, tras la introducción de ambos tratamientos, cada especie de leguminosa mantuvo e incluso potenció la actividad microbiana, creando un contexto más propicio para los microorganismos benéficos. Estos hallazgos indican que, en simbiosis con *Rhizobium*, *Phaseolus vulgaris* y *Cajanus cajan* juegan un papel clave en la reactivación biológica del suelo, condición esencial para su recuperación integral y para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo general; las leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) tuvieron resultados en los parámetros: como la textura, el pH, materia orgánica, reducción de metales pesados y microorganismos benéficos en el proceso de la biorremediación.

Con respecto al objetivo específico 01, la textura del suelo paso a ser un suelo franco arcilloso con el proceso de la biorremediación con ambas leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*).

Con respecto al objetivo específico 02, el pH inicial fue 4.17 (fuertemente ácido) resultando con un pH final de 5.45 (medianamente ácido) con *Phaseolus vulgaris* y 5.34 (medianamente ácido) con *Cajanus cajan* ninguna de las variedades optimiza a un valor neutro; respecto a la materia orgánica (M.O.) ambos mantienen un rango medio, que está ligado a la disponibilidad de Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K), lo cual se limita por la presencia aun de algunos metales pesados.

Con respecto al objetivo específico 03, la reducción de Plomo (Pb) con *Phaseolus vulgaris*. tuvo mejor desempeño, en la reducción de Cadmio (Cd) *Phaseolus vulgaris* tuvo mejor desempeño, y en la reducción de Zinc (Zn) con *Phaseolus vulgaris*.

Con respecto al objetivo específico 04, En el grupo operacional *Phaseolus vulgaris* presenta un número alto de actinomicetos, alto número de heterotróficos, un numero moderado de las bacterias que fijan nitrógeno, y menor número de mohos y levaduras y un número bajo de lactobacillus. Y en el grupo operacional *Cajanus cajan vulgaris* presenta un número alto de actinomicetos, alto número de heterotróficos, un numero moderado de las bacterias que fijan nitrógeno, y menor número de mohos y levaduras y un número bajo de lactobacillus.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para una próxima investigación se determine el efecto de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*), a efectos de largo plazo de 8 meses a 1 año, para obtener mejores resultados.

Se recomienda realizar el efecto del *Rhizobium* con otras leguminosas, para mejorar el suelo degradado.

Se recomienda a las autoridades competentes involucrarse en proyectos de investigación que presenten esta naturaleza, velar por la recuperación de los suelos degradados por cultivo de cacao.

Se recomienda concientizar e informar a los agricultores acerca del uso del *Rhizobium* y leguminosas como (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*), para mejorar el suelo degradado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonifacio, M. (2021) “Efecto de dos tipos de abonos orgánicos sobre las propiedades físicas, químicas en suelo degradado y su influencia en el crecimiento del paca (*Inga feuillee*) en Supte San Jorge – Leoncio Prado, Huánuco – 2019 - 2020”. Universidad de Huánuco.

file:///C:/Users/USER/Downloads/Bonifacio%20Maylle,%20Liz%20Mary.pdf.

Cervantes, J.; (2022). En su investigación titulada: “Efecto del biochar de molle (*Schinus molle* L.) en la recuperación de suelos degradados, usando como indicador el maíz (*Zea mays* L.), Huánuco 2021”. Universidad de Huánuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3408/CERVANTES%20RAMOS%2c%20Jhadyra%20Guadalupe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Cuadrado, B.; Rubio, G.; y Santos W. (2009). En su investigación titulada: “Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con habilidad de nodulación) seleccionados de los cultivos de frijol caupi (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos”. Universidad de Cartagena. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v38n1/v38n1a06.pdf>.

Da Frola, A.; Guimaraes, A. (2019). en su investigación titulada: “La utilización de fitomasa en la recuperación de suelo degradado - Vila Buriti / Manaus (AM)”. Universidad federal do Rio de Janeiro, Tres Lagoas (MS), Brazil. <https://www.scielo.br/j/mercator/a/HyKQq4FcN9GNQmSTr5NCdGy/abstract/?format=html&lang=es#>.

Encinas, A.; Ibarra, J.; (2000). En su investigación titulada: La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. FAO.

file:///C:/Users/USER/Downloads/DialnetLaDegradacionDelSueloYSusEfectosSobreLaPoblacion-5654360%20(1).pdf.

FAO, (1984), Proteger y Producir. Conservación de Suelo para el Desarrollo. P. 40. file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-LaDegradacionDelSueloYSusEfectosSobreLaPoblacion5654360%20(1).pdf.

FAO, (2015). Boletín del Año Internacional de los Suelos América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/3/a-i4885s.pdf>.

FAO, (2022). Portal de suelos FAO. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Degradación del suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>.

Heredia, V. (2020) Azotobacter y Rhizobium como biofertilizantes naturales en semillas y plantas de frijol caupí. Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869116006/637869116006.pdf>.

Hualca, C.; (2020). En su investigación titulada: Evaluación de las propiedades de un suelo degradado por efecto de la aplicación de enmiendas en el establecimiento del cacao (*Theobroma cacao L.*) en la localidad de río espino. Universidad Nacional Agraria de la Selva. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1835/TS_CNHC_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Huanay, M.; (2022). En su investigación titulada: Efecto de la mezcla de abonos orgánicos a partir de vermicompost, abono verde y gallinaza en la recuperación del suelo degradado – Cayhuayna Alta – Huánuco, 2021. Universidad de Huánuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3395/>

HUANAY%20MUNGUIA%2c%20MAYTE%20FABIOLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

INIA, (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas. Semana de la Ciencia y Tecnología 2015. <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/EI%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>.

Peña, K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. Universidad de Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Brasil
file:///D:/DOCUEMNTOS%20CECI/1460-
Texto%20del%20art%C3%ADculo-6453-2-10-20190605.pdf.

Ponce, R.; (2020). En su tesis titulada: Aplicación de enmiendas para la recuperación de suelos degradados y efecto en el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*) en la microcuenca del monzón. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
file:///D:/DOCUEMNTOS%20CECI/TS_RPE_2020%20Antecedente%20Nacional.pdf.

Simeone da Costa, J.; Quesada, K.; Adriano, R.; Augusto, M; Dos Santos, T. (2018). revista su titulada: Abonos verdes en el rendimiento del perejil y la fertilidad del suelo en Piracicaba, Brasil. Universidad de Sao Paulo Piracicaba-SP(Brazil). https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/6097/pdf.

Supo, J., & Zacarías, H. (2020). Metodología de la Investigación Científica (Tercera edición, Vol. 1). Bioestadístico EEDU. Metodología de la investigación. <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/1.pdf>.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Delgadillo Gómez, J. C. (2025). *Comparación del efecto de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1.

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 1581-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 18 de julio de 2023

Visto, el Oficio N° 548-2023-C-PAIA-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON RHYZOBIIUM Y LEGUMINOSAS (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR CULTIVO EXCESIVO DE CACAO"**, presentado por el (la) Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1806-2022-D-FI-UDH, de fecha 14 de setiembre de 2022, perteneciente a la Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ** se le designó como ASESOR(A) al Dr. Hector Raul Zacarias Ventura, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 548-2023-C-PAIA-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON RHYZOBIIUM Y LEGUMINOSAS (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR CULTIVO EXCESIVO DE CACAO"**, presentado por el (la) Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas (Presidente), Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel (Secretario) y Mg. Rudy Milner Ramos Dueñas (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA BIORREMEDIACIÓN CON RHYZOBIIUM Y LEGUMINOSAS (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR CULTIVO EXCESIVO DE CACAO"**, presentado por el (la) Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIA - Asesor - Exp. Gradando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto.

ANEXO 2.

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 1806-2022-D-FI-UDH

Huánuco, 14 de setiembre de 2022

Visto, el Oficio N° 695-2022-C-PAIA-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el Expediente N° 366573-0000002821, de la Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 366573-0000002821, presentado por el (la) Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Dr. Héctor Raúl Zacarías Ventura, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27º y 28º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis de la Bach. **Juana Cecilia DELGADILLO GOMEZ**, al Dr. Héctor Raúl Zacarías Ventura, Docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo.- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIA– Asesor – Mat. y Reg.Acad.– Interesado – Archivo.
BCRE/JML/nte.

ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

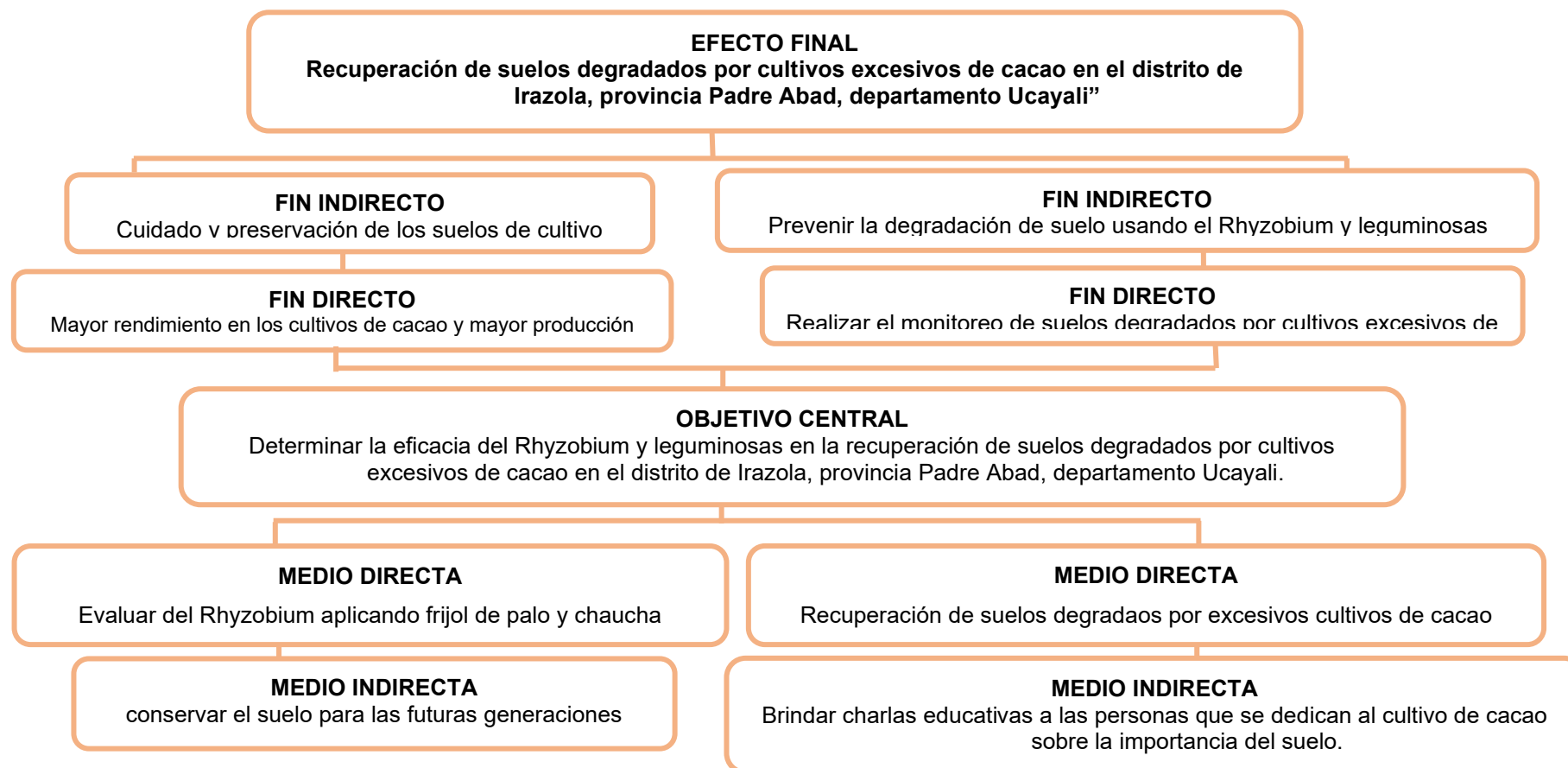
Título: “Comparación del efecto de la biorremediación con *Rhizobium* y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) y (*Cajanus cajan*) para la recuperación de suelos degradados por cultivo excesivo de cacao”

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables/Indicadores	Metodología
¿Cuál es el efecto de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>) para la recuperación de suelos degradados por el cultivo excesivo de cacao?	Comparar el efecto de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>) para la recuperación de suelos degradados por el cultivo excesivo de cacao.	El efecto de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>) es diferente para la recuperación de suelos degradados por el cultivo excesivo de cacao.	Independiente: Biorremediación <i>Rhizobium</i> + frijol chaucha (<i>Phaseolus vulgaris</i>) <i>Rhizobium</i> + frijol de palo (<i>Cajanus cajan</i>)	Tipo: Experimental, Prospectivo, Longitudinal, Analítico. Enfoque: Cuantitativo Nivel: explicativo. Diseño: Experimental Prospectivo, Longitudinal y Analítico.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica		
¿Cuáles son las propiedades físicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas?	Describir las propiedades físicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas.	Las propiedades físicas del suelo varían después de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>). Las propiedades químicas del suelo varían después de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>).	Dependiente: Calidad del suelo. Propiedades físicas • Textura. Propiedades químicas • pH	Población: 1000 m2 de suelo degradado por cultivos excesivos de cacao en el distrito de Irazola, provincia Padre Abad, Departamento Ucayali. Muestra: 30 kg de suelo degradado por cultivos excesivos de cacao.
¿Cuáles son las propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas?	Describir las propiedades químicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas.	Los metales pesados reducen significativamente del suelo después de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>). Las propiedades biológicas del suelo varían después de la biorremediación con <i>Rhizobium</i> y leguminosas (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y (<i>Cajanus cajan</i>).	Propiedades biológicas • Bacterias • Hongos Metales pesados Cadmio, plomo y zinc.	
¿Cuál es el porcentaje de presencia de metales pesados del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas?	Describir la presencia de metales pesados del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas.			
¿Cuáles son las propiedades Biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas?	Describir las propiedades biológicas del suelo degradado por el cultivo de cacao antes y después de la aplicación del <i>Rhizobium</i> y leguminosas.			

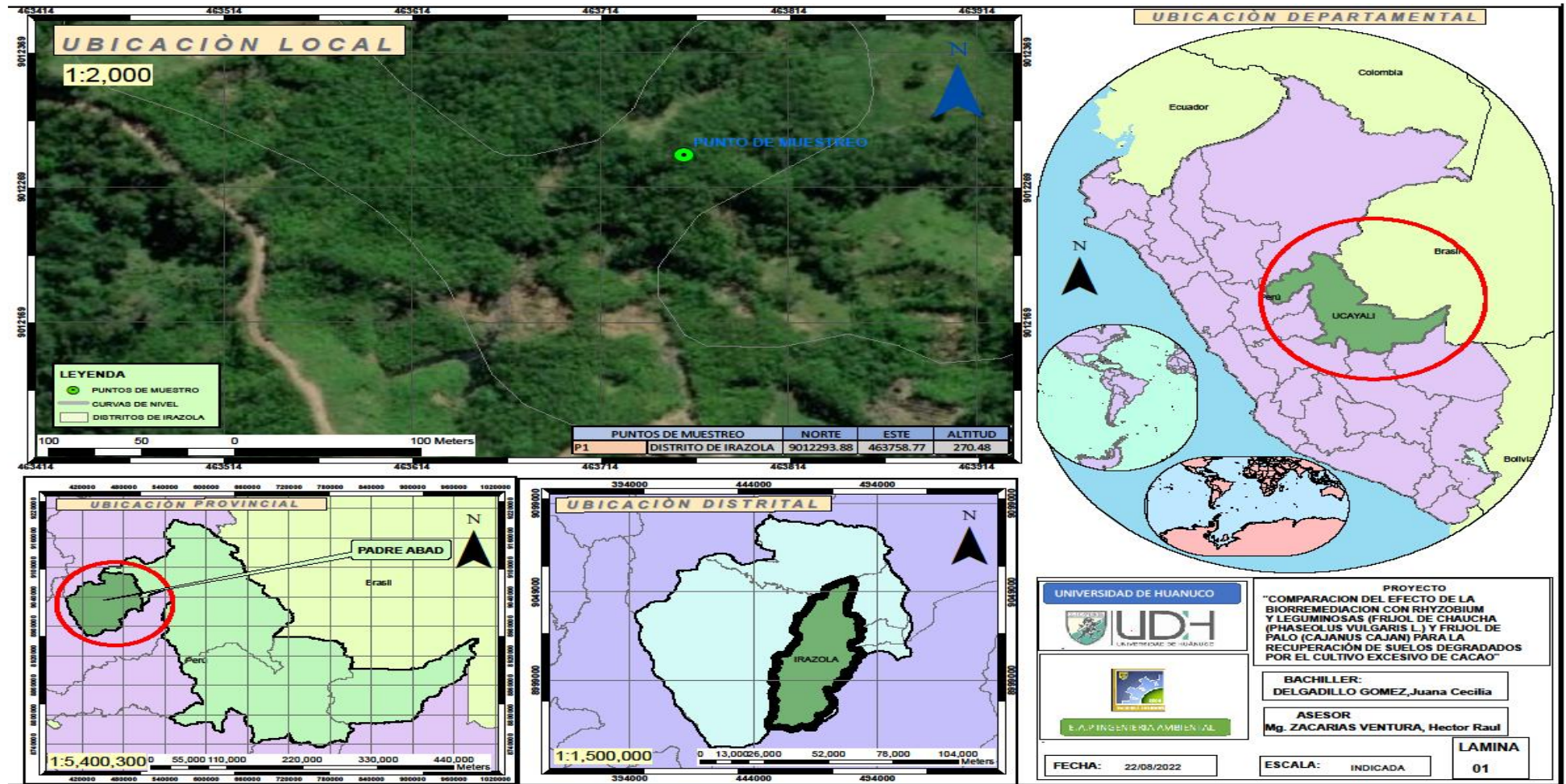
ANEXO 4. DIAGRAMA CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 5. DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 6. MAPA DE UBICACIÓN



ANEXO 7. FICHA DE CAMPO

Indicadores de temperatura y humedad

INDICADORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD							
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
01	Mañana	23.7°C	96%	11	Mañana	25.4°C	86%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
05/06/24	Tarde	37.5°C	36%	15/06/24	Tarde	37.7°C	36%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
02	Mañana	26.8°C	86%	12	Mañana	24.8°C	97%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
06/06/24	Tarde	37.8°C	38%	14/06/24	Tarde	34.7°C	34%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
03	Mañana	24.9°C	93%	13	Mañana	24.7°C	94%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
07/06/24	Tarde	37.9°C	34%	17/06/24	Tarde	37.5°C	38%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
04	Mañana	25.5°C	84%	14	Mañana	26.5°C	86%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
08/06/24	Tarde	38.8°C	38%	18/06/24	Tarde	32.3°C	70%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
05	Mañana	24.9°C	95%	15	Mañana	25.4°C	87%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
09/06/24	Tarde	38.7°C	36%	19/06/24	Tarde	37.5°C	58%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
06	Mañana	23.3°C	93%	16	Mañana	24.2°C	87%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
10/06/24	Tarde	37.6°C	43%	20/06/24	Tarde	26.9°C	84%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
07	Mañana	23.5°C	96%	17	Mañana	25.0°C	87%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
11/06/24	Tarde	27.1°C	90%	21/06/24	Tarde	28.5°C	80%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
08	Mañana	24.2°C	93%	18	Mañana	25.3°C	87%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
12/06/24	Tarde	37.1°C	49%	22/06/24	Tarde	30.7°C	77%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
09	Mañana	23.7°C	94%	19	Mañana	26.7°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
13/06/24	Tarde	33.7°C	56%	23/06/24	Tarde	30.9°C	73%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
10	Mañana	24.6°C	92%	20	Mañana	27.5°C	84%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
14/06/24	Tarde	33.9°C	58%	24/06/24	Tarde	37.7°C	76%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		

INDICADORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
21	Mañana	26.9°C	87%	31	Mañana	28.1°C	77%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
25/06/24	Tarde	33.3°C	67%	05/07/24	Tarde	35.4°C	55%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
22	Mañana	27.8°C	85%	32	Mañana	27.3°C	79%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
26/06/24	Tarde	34.6°C	58%	06/07/24	Tarde	37.5°C	51%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
23	Mañana	27.3°C	85%	33	Mañana	26.5°C	86%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
27/06/24	Tarde	32.9°C	67%	07/07/24	Tarde	37.3°C	55%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
24	Mañana	25.4°C	85%	34	Mañana	27.4°C	79%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
28/06/24	Tarde	37.8°C	44%	08/07/24	Tarde	36.6°C	52%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
25	Mañana	30.0°C	75%	35	Mañana	25.7°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
29/06/24	Tarde	31.7°C	67%	09/07/24	Tarde	34.7°C	47%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
26	Mañana	26.8°C	84%	36	Mañana	25.6°C	81%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
30/06/24	Tarde	34.5°C	48%	10/07/24	Tarde	37.3°C	40%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
27	Mañana	24.5°C	85%	37	Mañana	23.6°C	86%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
01/07/24	Tarde	33.7°C	49%	11/07/24	Tarde	32.6°C	72%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
28	Mañana	22.1°C	88%	38	Mañana	24.7°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
02/07/24	Tarde	32.0°C	57%	12/07/24	Tarde	36.8°C	48%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
29	Mañana	23.2°C	90%	39	Mañana	23.7°C	84%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
03/07/24	Tarde	31.5°C	57%	13/07/24	Tarde	32.6°C	52%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
30	Mañana	22.5°C	92%	40	Mañana	22.5°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
04/07/24	Tarde	32.5°C	63%	14/07/24	Tarde	33.7°C	47%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		

INDICADORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
41	Mañana	22.9°C	85%	51	Mañana	27.9°C	81%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
15/07/24	Tarde	29.9°C	57%	25/07/24	Tarde	37.5°C	40%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
42	Mañana	24.7°C	87%	52	Mañana	25.3°C	70%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
16/07/24	Tarde	27.5°C	71%	26/07/24	Tarde	37.8°C	40%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
43	Mañana	22.8°C	84%	53	Mañana	23.4°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
17/07/24	Tarde	38.7°C	28%	27/07/24	Tarde	32.5°C	53%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
44	Mañana	25.3°C	75%	54	Mañana	25.3°C	70%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
18/07/24	Tarde	37.9°C	30%	28/07/24	Tarde	33.8°C	61%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
45	Mañana	24.7°C	83%	55	Mañana	25.8°C	82%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
19/07/24	Tarde	33.7°C	53%	29/07/24	Tarde	33.6°C	64%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
46	Mañana	22.5°C	82%	56	Mañana	23.5°C	87%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
20/07/24	Tarde	36.3°C	47%	30/07/24	Tarde	31.6°C	67%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
47	Mañana	28.0°C	73%	57	Mañana	25.2°C	84%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
21/07/24	Tarde	37.0°C	50%	31/07/24	Tarde	30.7°C	70%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
48	Mañana	24.0°C	80%	58	Mañana	23.7°C	82%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
22/07/24	Tarde	36.0°C	47%	01/08/24	Tarde	31.6°C	69%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
49	Mañana	24.7°C	73%	59	Mañana	22.9°C	89%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
23/07/24	Tarde	33.7	38%	02/08/24	Tarde	34.3°C	51%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
50	Mañana	25.0°C	70%	60	Mañana	26.4°C	86%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
24/07/24	Tarde	33°C	39%	03/08/24	Tarde	33.5°C	68%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		

INDICADORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
61	Mañana	27.3°C	88%	71	Mañana	24.6°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
04/08/24	Tarde	30.5°C	76%	14/08/24	Tarde	32.9°C	38%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
62	Mañana	26.7°C	87%	72	Mañana	22.1	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
05/08/24	Tarde	29.8°C	77%	15/08/24	Tarde	34.3	48%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
63	Mañana	25.4°C	88%	73	Mañana	24.3°C	80%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
06/08/24	Tarde	37.9°C	73%	16/08/24	Tarde	34.8°C	54%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
64	Mañana	26.3°C	87%	74	Mañana	25.4°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
07/08/24	Tarde	32.6°C	69%	17/08/24	Tarde	35.0°C	51%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
65	Mañana	27.7°C	89%	75	Mañana	25.1°C	80%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
08/08/24	Tarde	32.4°C	69%	18/08/24	Tarde	36.3°C	48%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
66	Mañana	22.7°C	97%	76	Mañana	24.8°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
09/08/24	Tarde	33.8°C	60%	19/08/24	Tarde	35.9°C	50%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
67	Mañana	24.0°C	70%	77	Mañana	25.7°C	80%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
10/08/24	Tarde	24.8°C	63%	20/08/24	Tarde	36.5	47%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
68	Mañana	21.3°C	84%	78	Mañana	24.8°C	79%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
11/08/24	Tarde	33.9°C	58%	21/08/24	Tarde	36.0°C	50%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
69	Mañana	23.1°C	86%	79	Mañana	25.1°C	82%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
12/08/24	Tarde	30.3°C	63%	22/08/24	Tarde	35.8°C	52%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
70	Mañana	21.7°C	85%	80	Mañana	24.9°C	77%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
13/08/24	Tarde	31.8°C	48%	23/08/24	Tarde	36.0°C	49%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		

INDICADORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
81	Mañana	25.1°C	81%	91	Mañana	21.1°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
24/08/24	Tarde	35.7°C	55%	03/09/24	Tarde	34.1°C	58%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
82	Mañana	21.5°C	95%	92	Mañana	22.3°C	84%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
25/08/24	Tarde	25.9°C	81%	04/09/24	Tarde	33.5°C	61%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
83	Mañana	22.7°C	80%	93	Mañana	25.7°C	86%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
26/08/24	Tarde	27.6°C	70%	05/09/24	Tarde	34.5°C	60%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
84	Mañana	21.9°C	89%	94	Mañana	24.3°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
27/08/24	Tarde	33.9°C	58%	06/09/24	Tarde	33.0°C	60%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
85	Mañana	28.5°C	70%	95	Mañana	24.0°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
28/08/24	Tarde	31.5°C	62%	07/09/24	Tarde	34.0°C	58%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
86	Mañana	24.5°C	87%	96	Mañana	24.7°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
29/08/24	Tarde	33.1°C	57%	08/09/24	Tarde	33.7°C	54%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
87	Mañana	25.4°C	84%	97	Mañana	25.9°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
30/08/24	Tarde	35.4°C	54%	09/09/24	Tarde	36.4°C	48%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
88	Mañana	26.0°C	81%	98	Mañana	26.5°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
31/08/24	Tarde	35.9°C	53%	10/09/24	Tarde	36.3°C	50%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
89	Mañana	25.6°C	83%	99	Mañana	27.0°C	83%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
01/09/24	Tarde	28.8°C	66%	11/09/24	Tarde	36.0°C	52%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		
Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD	Día:	HORARIO	TEMPERATURA	HUMEDAD
90	Mañana	23.6°C	85%	100	Mañana	26.4°C	85%
Fecha:	8:00 a. m.			Fecha:	8:00 a. m.		
02/09/24	Tarde	30.9°C	59%	12/09/24	Tarde	36.4°C	50%
	1:00 p. m.				1:00 p. m.		

DATOS DE LA MEDICION DE LAS 2 LEGUMINOSAS							
						FECHA:	12/06/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.4 cm	16 cm	2	1	0.1 cm	6 cm	1
2	0.4 cm	14 cm	2	2	-	-	-
3	0.3 cm	13 cm	-	3	-	-	-
4	0.5 cm	18 cm	2	4	0.1 cm	6 cm	1
						FECHA:	19/06/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.4 cm	26 cm	8	1	0.1 cm	17 cm	5
2	0.4 cm	25 cm	3	2	0.1 cm	13 cm	2
3	0.3 cm	40 cm	9	3	0.1 cm	15 cm	5
4	0.5 cm	31 cm	1	4	0.1 cm	19 cm	5
						FECHA:	26/06/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	28 cm	10	1	0.1 cm	19 cm	11
2	0.5 cm	28 cm	4	2	0.1 cm	16 cm	8
3	0.5 cm	43 cm	14	3	0.1 cm	18 cm	12
4	0.5 cm	35 cm	7	4	0.1 cm	23 cm	8
						FECHA:	03/07/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	28 cm	12	1	0.5 cm	19 cm	12
2	0.5 cm	28 cm	9	2	0.5 cm	19 cm	11
3	0.5 cm	52 cm	17	3	0.5 cm	21 cm	22
4	0.5 cm	41 cm	9	4	0.5 cm	28 cm	13
						FECHA:	10/07/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	30 cm	16	1	0.5 cm	21 cm	19
2	0.5 cm	35 cm	10	2	0.5 cm	25 cm	12
3	0.5 cm	60 cm	18	3	0.5 cm	27 cm	22
4	0.5 cm	50 cm	13	4	0.5 cm	44 cm	19
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1				1			

DATOS DE LA MEDICION DE LAS 2 LEGUMINOSAS							
						FECHA:	17/07/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	32 cm	13	1	0.5 cm	29 cm	22
2	0.5 cm	37 cm	10	2	0.5 cm	33 cm	18
3	0.5 cm	68 cm	19	3	0.5 cm	38 cm	29
4	0.5 cm	56 cm	14	4	0.5 cm	55 cm	30
						FECHA:	24/07/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	33 cm	14	1	0.5 cm	37 cm	25
2	0.5 cm	42 cm	10	2	0.5 cm	36 cm	28
3	0.5 cm	69 cm	20	3	0.5 cm	44 cm	33
4	0.5 cm	65 cm	14	4	0.5 cm	65 cm	35
						FECHA:	31/07/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	35 cm	16	1	0.5 cm	44 cm	27
2	0.5 cm	46 cm	10	2	0.5 cm	49 cm	37
3	0.5 cm	70 cm	23	3	0.5 cm	52 cm	38
4	0.5 cm	71 cm	17	4	0.5 cm	79 cm	40
						FECHA:	7/08/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	40 cm	15	1	0.5 cm	55 cm	35
2	0.5 cm	49 cm	13	2	0.5 cm	58 cm	42
3	0.5 cm	72 cm	25	3	0.5 cm	64 cm	75
4	0.5 cm	74 cm	13	4	0.5 cm	87 cm	42
						FECHA:	14/08/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5 cm	42 cm	17	1	0.5 cm	57 cm	33
2	0.5 cm	51 cm	15	2	0.5 cm	60 cm	42
3	0.5 cm	75 cm	22	3	0.5 cm	67 cm	75
4	0.5 cm	78 cm	10	4	0.5 cm	90 cm	38
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			

DATOS DE LA MEDICION DE LAS 2 LEGUMINOSAS							
						FECHA:	21/08/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5cm	42cm	13	1	0.5cm	65cm	36
2	0.5cm	52cm	10	2	0.5cm	71cm	43
3	0.5cm	75cm	11	3	0.5cm	70cm	68
4	0.5cm	78cm	10	4	0.5cm	94cm	42
						FECHA:	28/08/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5cm	43cm	11	1	0.5cm	68cm	37
2	0.5cm	53cm	11	2	0.5cm	83cm	48
3	0.5cm	75cm	3	3	0.5cm	73cm	61
4	0.5cm	78cm	6	4	0.5cm	99cm	47
						FECHA:	04/09/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5cm	43cm	5	1	0.7cm	70cm	30
2	0.5cm	53cm	5	2	0.7cm	85cm	43
3	0.5cm	75cm	3	3	0.7cm	75cm	57
4	0.5cm	78cm	5	4	0.7cm	1mts	43
						FECHA:	11/09/24
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1	0.5cm	43cm	3	1	0.7cm	72cm	31
2	0.5cm	53cm	7	2	0.7cm	87cm	40
3	0.5cm	75cm	-	3	0.7cm	77cm	55
4	0.5cm	78cm	6	4	0.7cm	1.2mts	40
						FECHA:	
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			
Número de Planta	FRIJOL DE CHAUCHA (Phaseolus vulgaris)			Número de Planta	FRIJOL DE PALO (Cajanus cajan)		
	GROSOR	TAMAÑO	HOJAS		GROSOR	TAMAÑO	HOJAS
1				1			
2				2			
3				3			
4				4			

ANEXO 8. PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1: Reconocimiento de lugar, remoción de superficie y elaboración de calicata



Fotografía 2: Toma de primeras muestras, rotulado y etiquetado



Fotografía 3: Verificación de las diferentes texturas del suelo.



Fotografía 4: Separación de muestra en maceteros y siembra de frijol de palo y frijol de chaucha.



Fotografía 5: Ubicación del área de estudio – Pueblo Libre – Irazola – Padre Abad – Ucayali.



Fotografía 6: Observación del crecimiento de las plantas.



Fotografía 7: Monitoreo y mediciones del tamaño de la planta.



Fotografía 8: Supervisión del jurado: Mg. Simeón Edmundo, Calixto Vargas



Fotografía 9: Toma de las muestras del suelo biorremediada.



Fotografía 10: Rotulación de las muestras y traslado.



Fotografía 11: Secado de las muestras en el laboratorio para el análisis físicos y químicos.



Fotografía 12: Tamizado de suelo en el laboratorio para el análisis físicos y químicos.



Fotografía 13: Análisis físicos del suelo (método de la probeta).



Fotografía 14: Análisis químicos de las muestras de suelo post biorremediación.



Fotografía 15: Mezcla de la muestra con la solución para la determinación de metales pesados.



Fotografía 16: Lectura directa de la solución en el espectrofotómetro de absorción atómica - metales pesados.



ANEXO 9. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MUESTRAS ENVIADAS A LABORATORIO ANÁLISIS DE SUELOS DE LA UNAS



SOLICITANTE	DELGADILLO GOMEZ JUANA CECILIA
PROCEDENCIA	IRAZOLA - PADRE ABAD - UCAYALI
RECIBO Y/O FACTURA	49018
FECHA DE REPORTE	10 DE JUNIO 2024
OBSERVACION:	

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO																															
DATOS				ANÁLISIS MECÁNICO				ANÁLISIS FÍSICO				ANÁLISIS QUÍMICO						ANÁLISIS QUÍMICO													
				Arena		Arcilla		Limo	Clase Textural	Densidad Aparente Da	Espacio Poroso	pH	CE dSm	Materia Orgánica M.O.		N total	C Orgánico	P disponible	K ₂ O	Cd	Pb total	Zn	Ca Calcio	Mg Magnesio	K Potasio	Na Sodio	Al Aluminio	H Hidrógeno	Bases Cambiables %	Acidez Cambiable %	Saturación de Aluminio %
				Ao	Arc	Arc	Lo							%	%																
N°	CODIGO DEL LAB.		REFERENCIA																												
1	S24-0494		M1		76	11	13	Arena Franca	1.2023	39.5610	4.17	0.22	1.50	0.075	0.869	13.145	45.373	0.1008	8.6600	18.2930	"---	1.870	0.238	0.098	0.054	0.270	0.530	---	100	0	0

Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Suelos. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que los presentó.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria

Dr. HUGO ALFREDO HUAMAN YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:	DELGADILLO GOMEZ JUANA CECILIA	FECHA DE REPORTE:	14/10/2024
PROCEDENCIA:	PUEBLO LIBRE - IIRAZOLA - PADREABAD - UCAYALI	RECIBO O FACTURA ELECTRONICA N°	FE01-0000142

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS	ANÁLISIS MECÁNICO								ANÁLISIS QUÍMICO										ANÁLISIS QUÍMICO																	
		Arena		Arcilla		Limo		Clase Textural	pH	CE		Materia Orgánica		N	C	P	K ₂ O		Ca	Mg	K	Na	Al	H	CIC	Bases Cambiables	Acidez Cambiable	Saturación de Aluminio									
										%	%	85%	M.O.				total	Orgánico											disponible	ppm	ppm						
																																1:1	1:1	%	%	ppm	ppm
CONDICIÓN DEL MUE.		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA		REFERENCIA											
1	S24-1092-1	PV 01	35	33	32	Franco Arcilloso	5.49	0.19	3.43	0.171	1.588	5.455	243.852	—	18.32	3.05	0.63	0.20	0.97	0.11	23.28	95.37	4.63	4.16													
2	S24-1092-2	PV 02	29	37	34	Franco Arcilloso	5.43	0.23	5.59	0.280	3.243	6.006	233.403	—	17.08	2.85	0.65	0.22	0.75	0.60	22.14	93.90	6.10	3.39													
3	S24-1092-3	PV 03	33	37	30	Franco Arcilloso	5.39	0.19	4.13	0.207	2.396	2.855	171.066	—	17.87	2.98	0.59	0.21	0.83	0.40	22.88	94.85	5.35	3.61													
4	S24-1092-4	PV 04	29	37	34	Franco Arcilloso	5.49	0.22	3.27	0.163	1.894	3.012	189.868	—	19.23	3.21	0.61	0.22	0.36	0.13	23.75	97.97	2.03	1.50													
5	S24-1092-5	CC 01	31	37	32	Franco Arcilloso	5.34	0.18	4.29	0.215	2.490	3.958	123.598	—	16.60	2.77	0.40	0.15	0.77	0.27	20.95	95.02	4.98	3.69													
6	S24-1092-6	CC 02	27	37	36	Franco Arcilloso	5.21	0.15	2.62	0.131	1.518	0.727	184.128	—	21.47	3.58	0.55	0.18	0.83	0.29	26.90	95.83	4.17	3.09													
7	S24-1092-7	CC 03	37	33	30	Franco Arcilloso	5.36	0.19	3.37	0.169	1.957	3.328	237.115	—	17.23	2.87	0.57	0.20	0.80	0.94	22.61	92.33	7.67	3.52													
8	S24-1092-8	CC 04	39	31	30	Franco Arcilloso	5.45	0.19	3.59	0.179	2.082	1.437	155.936	—	16.35	2.72	0.49	0.17	0.38	0.40	20.51	90.22	3.78	1.83													

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO HUAMAN YUPANQUI

para el Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	DELGADILLO GOMEZ JUANA CECILIA	FECHA DE REPORTE:	14/10/2024
PROCEDENCIA:	PUERTO LIBRE - IIRAZOLA - PADRE ABAD - UCAYALI	RECIBO O FACTURA ELECTRONICA N°	FE01-0000142

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		RESULTADOS			
			CADMIO	PLOMO	ZINC	
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	
1	S24-1092-1	PV 01 Frijol de chaucha (<i>pasolelus vulgaris</i>)	0.087	4.104	16.589	
2	S24-1092-5	CC 01 Frijol de palo (<i>cajanos cajan</i>)	0.098	4.665	17.699	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria

Dr. HUGO GREGORIO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
Tingo María

SERVICIO DIAGNÓSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N°: 00049017

Muestra : Suelo de 1 kg
Procedencia : Irazola – Padre Abad – Ucayali
Atención a : Juana Cecilia Delgadillo Gomez
Fecha recepción : 04 de junio del 2024

Análisis solicitados:

- Enumeración Microorganismos Aerobios Viables
- Enumeración de Actinomicetos
- Enumeración de Lactobacillus
- Investigación de bacterias fijadoras de nitrógeno
- Enumeración de Fungí (Mohos y Levaduras)

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Enumeración de microorganismos Aerobios Viables	424×10^3 UFC/g	$3 - 7 \times 10^3$ UFC/g
- Enumeración de Actinomicetos	382×10^3 UFC/g	$2 - 3 \times 10^3$ UFC/g
- Enumeración de Lactobacillus	2×10^3 UFC/g	$2 - 3 \times 10^3$ UFC/g
- Bacterias fijadoras de Nitrógeno	172×10^3 UFC/g	Presencia
- Enumeración de Fungí (Mohos y Levaduras)	14×10^3 UFC/g	$1 - 3 \times 10^3$ UFC/g

CONCLUSIONES:

La muestra analizada presenta un número alto de microorganismos aerobios viables (heterotróficos), de bacterias tipo actinomicetales y de bacterias fijadoras de nitrógeno; un número moderado de fungí (mohos y levaduras); así como un número bajo de bacterias del género *Lactobacillus*.

Tingo María, 18 de junio de 2024.




Dr. Mchgo. Btcnlgo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N°: 00057501

Muestra : Suelo – cc-0001
Procedencia : Pueblo Libre – Irazola – Padre Abad - Ucayali
Atención a : Juana Cecilia Delgadillo Gómez
Fecha recepción : 26 de setiembre del 2024
Análisis solicitados:

- Enumeración Microorganismos Aerobios Viables
- Enumeración de Actinomicetos
- Enumeración de Lactobacillus
- Investigación de bacterias fijadoras de nitrógeno
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Enumeración de microorganismos Aerobios Viables	96×10^3 UFC/g	$3 - 7 \times 10^3$ UFC/g
- Enumeración de Actinomicetos	147×10^3 UFC/g	$2 - 3 \times 10^3$ UFC/g
- Enumeración de Lactobacillus	4×10^3 UFC/g	$2 - 3 \times 10^3$ UFC/g
- Bacterias fijadoras de Nitrógeno	12×10^3 UFC/g	Presencia
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)	10×10^3 UFC/g	$1 - 3 \times 10^3$ UFC/g

CONCLUSIONES:

La muestra analizada presenta un número alto de microorganismos aerobios viables (heterotróficos), actinomicetos, un número moderado de bacterias fijadoras de nitrógeno, fungi (mohos y levaduras) y un número bajo de lactobacillus.

Tingo María, 09 de octubre de 2024.



César S. López López
Dr. Mcdlgo. Bcnlgo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Laboratorio de Microbiología General
Tingo María

SERVICIO DIAGNOSTICO MICROBIOLÓGICO

Recibo N°: 00057501

Muestra : Suelo – pv-0001
Procedencia : Pueblo Libre – Irazola –Padre Abad - Ucayali
Atención a : Juana Cecilia Delgadillo Gómez
Fecha recepción : 26 de setiembre del 2024
Análisis solicitados:

- Enumeración Microorganismos Aerobios Viables
- Enumeración de Actinomicetos
- Enumeración de Lactobacillus
- Investigación de bacterias fijadoras de nitrógeno
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)

RESULTADOS:

Determinación	Resultados	Valor referencial
- Enumeración de microorganismos Aerobios Viables	126 x 10 ³ UFC/g	3 - 7 x 10 ³ UFC/g
- Enumeración de Actinomicetos	107 x 10 ³ UFC/g	2 - 3 x 10 ³ UFC/g
- Enumeración de Lactobacillus	2 x 10 ³ UFC/g	2 - 3 x 10 ³ UFC/g
- Bacterias fijadoras de Nitrógeno	22 x 10 ³ UFC/g	Presencia
- Enumeración de Fungi (Mohos y Levaduras)	7 x 10 ³ UFC/g	1 - 3 x 10 ³ UFC/g

CONCLUSIONES:

La muestra analizada presenta un número alto de microorganismos aerobios viables (heterotróficos), actinomicetos, un número moderado de bacterias fijadoras de nitrógeno, fungi (mohos y levaduras) y un número bajo de lactobacillus.

Tingo María, 09 de octubre de 2024.



[Firma]
Dr. Mcblgo. Bcnigo. César S. López López
Laboratorio Microbiología General,