

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA



**CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS EN UN SUELO CON CULTIVO DE
CACAO (*Theobroma Cacao L.*) Y SU RELACIÓN CON MICROORGANISMOS EN
EL SECTOR DEL BOLSÓN CUCHARA.**

Tesis

Para Optar el Título de:

INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA

Presentado Por:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Winy Samy Rivera Cierto'.

RIVERA CIERTO, WINY SAMY

Tingo Maria – Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María- Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 042-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 31 marzo de 2025, a horas 11:00 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

“CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS EN UN SUELO CON CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L.*) Y SU RELACIÓN CON MICROORGANISMOS EN EL SECTOR DEL BOLSÓN CUCHARA”

Presentado por el Bachiller: **RIVERA CIERTO, WINY SAMY** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 11 de abril de 2025

Dr. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO
PRESIDENTE

Ing. MSc. JOSE V. QUIROZ RAMIREZ
MIEMBRO

Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO



Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
ASESOR



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 162 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de Suficiencia Profesional

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS EN UN SUELO CON CULTIVO DE CACAO (Theobroma Cacao L.) Y SU RELACIÓN CON MICROORGANISMOS EN EL SECTOR DEL BOLSÓN CUCHARA.	RIVERA CIERTO, WINY SAMY	20 % Veinte

Tingo María, 30 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACION

DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

REGISTRO DE TESIS PARA OBTENCION DEL TITULO UNIVERSITARIO

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria la Selva
Facultad	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional	:	Ingeniería en Conservación de Suelo y Agua
Título de Tesis	:	Características físicas y químicas en un suelo con cultivo de cacao (<i>theobroma cacao l.</i>) y su relación con microorganismos en el sector del bolsón cuchara
Objetivo General	:	Determinar las características físicas y químicas de un suelo con el cultivo de cacao y su relación con los microorganismos en el sector de Bolsón Cuchara.
Autor	:	Rivera Cierito, Winy Samy
DNI	:	73227518
Correo electrónico	:	Winy.rivera@unas.edu.pe
Asesor de Tesis	:	Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo
Área de investigación	:	Ciencias básicas
Grupo de investigación	:	Ciencias básicas
Línea de investigación	:	Física y química de suelos
Lugar de ejecución	:	Sector de Bolsón Cuchara – distrito Rupa Rupa
Fecha Inicio	:	01/ 06/2023
Fecha Término	:	30/12/2023
Presupuesto	:	S/. 5 107.00
Financiamiento	:	Propio (X) FIF () Eterno ()

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



Universidad	: Universidad Nacional Agraria la Selva
Facultad	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
Escuela profesional	: Ingeniería en Conservación de Suelo y Agua
Título de Tesis	: Características físicas y químicas en un suelo con cultivo de cacao (theobroma cacao l.) y su relación con microorganismos en el sector del bolsón cuchara
Autor	: Rivera Cierto, Winy Samy
Asesor de Tesis	: Dr. Wilfredo Alva Valdiviezo
Objetivo general	: Determinar las características físicas y químicas de un suelo con el cultivo de cacao y su relación con los microorganismos en el sector de Bolsón Cuchara
Área de investigación	: Ciencias básicas
Grupo de investigación	: Ciencias básicas
Línea de investigación	: Física y química de suelos
Lugar de ejecución	: Sector de Bolsón Cuchara – distrito Rupa Rupa
Duración	: Fecha Inicio 01/06/2023 Fecha Término 30/12/2023
Financiamiento	Propio (X)
Presupuesto	S/. 5 107.00

DEDICATORIA

A Dios, por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de su fuerza para vencer todos los obstáculos que se me presenta en el camino y por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida.

Con todo mi amor y cariño a mis queridos padres William Rivera Romero y Noemi Ruht Cierro Sudario, que hicieron todo en cuanto le fue posible para yo poder cumplir mis metas, por su apoyo incondicional, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, por enseñarme con ejemplo que la humildad y el esfuerzo son las claves del éxito a ustedes por siempre mi eterno agradecimiento.

A mi pequeño travieso de la casa K.B.R.R. por sus ocurrencias, amor y afecto que son los detonantes de toda mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de seguir adelante buscando siempre lo mejor para ti, aún a tu corta edad me has enseñado y me sigues enseñando lo maravilloso de esta vida.

A mi familia en general y a todas las que contribuyeron en el desarrollo de la tesis

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme el regalo de la vida, por bendecirme y rodearme de personas que me han apoyado y guiado para llegar a este logro, por estar siempre presente guiando mis pasos y ser luz en mi camino.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por ser el alma Mater y me brindó la oportunidad para forjarme como un profesional.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a los docentes de la escuela profesional de conservación de suelos y agua, por influir con sus lecciones, conocimientos y experiencias en mi formación profesional.

A mi asesor el Ing. Wilfredo Alva Valdiviezo por el apoyo brindado en el desarrollo de la presente tesis, gracias por su empeño, paciencia y confianza.

A los miembros del jurado al Ing. Roberto Obregón Peña, Ing. José Lévano Crisóstomo, al Ing. José Víctor Quiroz Ramírez; Ing. Jaime Torres García por sus ilustres despliegues de conocimientos, consejos, sugerencias, orientación, exigencia y confianza que me ofrecieron para poder llevar acabo la integra ejecución de la tesis.

A Ing. Richard Sias Rodríguez, por su paciencia y apoyo incondicional que me dio durante el trabajo en el laboratorio de microbiología

A mi familia en general por los buenos deseos para conmigo y aportar siempre grandes cosas en mi vida.

A todas las personas que de alguna forma influyeron en mi formación profesional y en la realización de la presente tesis.

Indice

I. Introduccion	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
II. Revision de literatura	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. Definición del suelo	3
2.2. ¿Qué es el suelo?	3
2.2.1. Composición del suelo	3
2.2.2. Componentes del suelo productivo	4
2.2.3. Tipos de suelos	4
2.2.3.1. Según su estructura. Podemos hablar de:	4
2.2.3.2. Según sus características físicas. Podemos hablar de:	5
2.2.4. Factores de formación de suelos	5
2.2.5. El suelo como sistema ecológico	6
2.2.6. Suelo vegetal	7
2.2.7. Fertilidad de los suelos	7
2.2.8. Indicadores de la calidad de suelos	7
2.2.9. Condiciones que deben cumplir los indicadores de la calidad del suelo	8
2.2.10. Características físicas del suelo.....	9
2.2.11. Propiedades Químicas	14
2.2.12. Fosforo en el suelo	16
2.2.13. Potasio en el suelo	16
2.2.14. Nitrógeno en el suelo.....	17
2.2.15. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos (CIC).....	17
2.2.16. Magnesio intercambiable	18
2.2.18. Potasio intercambiable	19
2.2.19. Sodio intercambiable.....	19
2.2.20. Aluminio intercambiables	¡Error! Marcador no definido.
2.2.21. Porcentaje de saturación de bases cambiables	20
2.2.22. Porcentaje de ácidos cambiables	21
2.2.23. Propiedades biológicas de suelo.....	21
2.2.24. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo	21
2.2.25. Microorganismos del suelo	22

2.2.26. Importancia de los microorganismos	22
2.2.26.1. Microorganismos aerobios viables.....	22
2.2.27. Población microbiana del suelo.....	23
2.2.27.1. Bacterias del suelo.....	23
2.2.27.2. Tipos de bacterias encontradas en el suelo.....	23
2.2.27.3. Los actinomicetos.....	24
2.2.27.4. Los lactobacillus.....	24
2.2.27.5. Bacterias fijadoras de nitrógeno	24
2.2.28. Hongos del suelo (Fungi)	25
2.2.28.1. Numeración de mohos y levaduras	25
2.2.29. Microorganismos benéficos del suelo	26
2.2.30. Microorganismos más utilizados en la agricultura.....	26
2.2.31. Que es un suelo productivo	27
2.2.32. Suelos saludables.....	28
2.2.33. Relación entre salud y nutrición de las plantas	29
2.2.34. Relación de suelos y plantas.....	29
2.2.35. El cacao	30
2.2.36. El cultivo de cacao en el Perú	30
2.2.37. Características agronómicas y botánicas del cacao.....	31
2.2.37.1. Raíz.....	31
2.2.37.2. El Tallo.....	31
2.2.37.3. Hojas.....	32
2.2.37.4. Flores	32
2.2.37.5. Fruto	32
2.2.37.6. Semilla.....	32
2.2.38. Requerimiento de suelos para el cultivo del cacao	32
2.2.39. Drenaje	33
2.2.40. pH del suelo.....	33
2.2.41. Materia orgánica.....	33
2.2.42. Topografía	33
2.2.43. Muestreo de suelos	33
2.2.43.1. Tipos de muestreo	34
2.2.43.2. Toma de muestreos para análisis físicos, químicos y microbiológicos.....	34
2.2.43.3. Análisis de suelos	34

2.3.	Estado del arte	35
2.3.1.	Antecedentes	35
III.	Materiales y metodos.....	37
3.1.	Lugar de ejecución	37
3.1.1.	Ubicación política	37
3.1.2.	Ubicación geográfica.....	37
3.1.2.1.	Límites.....	37
3.1.3.	Características generales del lugar de ejecución	38
3.1.4.	Aspectos ambientales	38
3.1.4.1.	Clima	38
3.1.4.2.	Fisiografía.....	38
3.1.5.	Hidrografía	39
3.1.6.	Suelo.....	39
3.1.7.	Vías de Acceso	39
3.2.	Materiales y métodos.....	39
3.2.1.	Materiales y equipos de campo	39
3.2.2.	Materiales y equipos de laboratorio	39
3.2.2.1.	Reactivos	40
3.2.2.2.	Medios de cultivos	40
3.2.2.3.	Parámetros en estudio.....	40
3.2.2.4.	Reconocimiento del Área de Estudio.....	41
3.3.	Generalidades de la investigación	41
3.3.1.	Tipo de estudio	41
3.3.2.	Nivel de estudio.....	41
3.4.	Metodología.....	41
3.4.1.	Identificación de los puntos de muestreo	41
3.4.2.	Muestreo de suelo para determinar sus características físicas y químicas	41
3.4.3.	Métodos para determinar los parámetros físicos.....	42
3.4.4.	Métodos para determinar los parámetros químicos.....	42
3.4.5.	Muestreo de suelos para determinar microorganismos	42
3.4.6.	Caracterización de los microorganismos presentes en el suelo.....	43
3.5.	Identificación de microorganismos	43
3.5.1.	Preparación del caldo BHI	43
3.5.2.	Medios de cultivos para la siembra de los microorganismos.....	43

3.5.3.	Siembra en las placas Petri con medios enriquecedores	43
3.5.4.	Identificación de bacterias.....	44
3.5.5.	Identificación de bacterias Tinción de Gram	45
3.5.6.	Identificación de hongos (microcultivo)	45
3.5.6.1.	Medios de cultivos para el recuento de Microorganismos.....	45
3.5.6.2.	Enumeración de bacterias y fungí (recuento).....	45
3.5.7.	Relacionar las propiedades físicas y químicas con los microorganismos del suelo	46
3.5.7.1.	Coeficiente de correlación en R	46
3.5.7.2.	Análisis de datos.....	46
IV.	Resultados y discusion	48
4.1.	Determinar las características físicas y químicas de un suelo con el cultivo de cacao y su relación con los microorganismos en el sector de Bolsón Cuchara.....	48
4.1.1.	Características físicas del suelo.....	48
4.2.	Determinar las propiedades químicas de suelos con cultivo de Theobroma cacao. L.	50
4.2.1.	El pH	50
4.2.2.	Materia orgánica.....	51
4.2.3.	Nitrógeno.....	51
4.2.4.	Fosforo	52
4.2.5.	Potasio	52
4.2.6.	Capacidad de intercambio catiónico	53
4.3.	Caracterizar los microorganismos presentes en el suelo en el cultivo de cacao en el Sector Bolsón Cuchara.	53
4.3.1.	Determinación de microorganismos.....	53
4.3.2.	Resultados de la identificación de hongos y bacterias de las muestras de suelo	54
4.4.	Determinar la relación existente entre las propiedades físicas y químicas con los microorganismos presentes en el suelo con cultivos de cacao.	57
4.4.1.	Sector Santa Martha (SM).....	57
4.4.2.	Sector Los Cedros (LC).....	63
V.	Conclusiones.....	70
VI.	Propuestas a futuro	71
VII.	Referencias.....	72
VII.	Anexos	83

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pag
1. Agrupamiento general de las clases texturales	11
2. Rangos interpretativos para la densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.	12
3. Densidad aparente y Densidad relativa de los suelos de acuerdo con su grupo textural.	12
4. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo.	13
5. Niveles de resistencia a la penetración del suelo	14
6. Niveles de materia orgánica en el suelo.....	15
7. Niveles de pH del suelo	15
8. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen)	16
9. Niveles de contenido de potasio en el suelo	17
10. Niveles de contenido de nitrógeno	17
11. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5,5).....	18
12. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5,5).....	18
13. Rangos interpretativos de magnesio (Mg) intercambiable.	18
14. Niveles de rango para el calcio (Ca) intercambiable	19
15. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable.	19
16. Rangos interpretativos para sodio (Na) intercambiable	20
17. Actividades de la fauna en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.....	21
18. Descripción del cacao	30
19. Ubicación geográfica de los dos caseríos de bolsón cuchara y sus parcelas representativas en cada caserío.	37
20. Textura de suelos en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	48
21. Densidad aparente en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	49
22. Resistencia del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	49
23. Temperatura del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	50
24. pH del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	50
25. ...Materia orgánica del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	51
26. ...Nitrógeno del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	51
27. Fosforo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao L.</i>	52

28. Potasio en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao</i> L.....	52
29. CIC del suelo en las parcelas de Santha Martha y Los Cedros con <i>Theobroma cacao</i> L. .	53
30. Resultados del recuento de microorganismos	54
31. .. Identificación de hongos presentes en el suelo de cacao de la parcela Santa Martha y Los Cedros	54
32. Identificación de bacterias presentes en el suelo de cacao de la parcela Santa Martha y Los Cedros	56

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pag
1. Factores de formación del suelo	6
2. Clases texturales del suelo	11
3. Interacción suelo-planta-microorganismos (fuente Tarazona 2015)	27
4. La cadena alimenticia del suelo (Fuente: Ingham, 2000)	28
5. Producción nacional de cacao en el Perú (fuente: ministerio de agricultura).....	31
6. Esquema del plan de muestreo.....	35
7. Zona de muestreo en árboles frutales, forestales, frutales, ornamentales, etc.	35
8. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a propiedades químicas de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.	58
9. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.....	59
10. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.....	60
11. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.	60
12. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.	61
13. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.	62
14. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.	63
15. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a propiedades químicas de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.	64
16. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.....	65
17. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.....	66
18. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.....	67
19. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.	68

- 20.** Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros..... 68
- 21.** Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros..... 69

RESUMEN

El estudio evaluó las características físico-químicas del suelo en parcelas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Bolsón Cuchara y su relación con microorganismos. Ante la limitada información sobre las condiciones del suelo, se determinaron las características físico-químicas y su relación con los microorganismos en dos parcelas representativas (Santa Martha y Los Cedros) de ¼ ha, ubicadas en distintas unidades fisiográficas. Se muestreó en zigzag a 20 cm de profundidad para propiedades físico-químicas, enviando las muestras al laboratorio de suelos de Agronomía-UNAS y determinando algunas propiedades in situ. Para parámetros microbiológicos, se recolectaron muestras al costado de cada planta a 10 cm, llevándolas al laboratorio de microbiología de la UNAS. Los datos se procesaron en SPSS y se correlacionaron los parámetros.

Los suelos de las parcelas son franco arcillosos. La densidad aparente varió de 1.35 g/cm³ (Los Cedros) a 1.49 g/cm³ (Santa Martha). La resistencia a la penetración fue mayor en Santa Martha (2.55 k/cm²) que en Los Cedros (1.50 k/cm²). La temperatura fue de 28 °C en ambas parcelas. El pH fue fuertemente ácido (< 5.5). La materia orgánica fue media, fósforo y potasio muy bajos, y CIC bajo. El recuento de microorganismos fue mayor en Santa Martha. Se identificaron las mismas especies de hongos con mayor presencia en Santa Martha, excepto *Fusarium* sp. y la bacteria *Klebsiella*, más abundantes en Los Cedros debido a su fisiografía de terraza baja inundable. Se consideraron solo las correlaciones positivas perfectas (figuras 16;18;19;21 y 22).

Palabras claves: Características físicas, químicas, microbiológicas, correlacion de microorganismos.

ABSTRACT

This study evaluated the physicochemical characteristics of the soil in cacao (*Theobroma cacao* L.) plots in Bolsón Cuchara and their relationship with microorganisms. Given the limited information on soil conditions, the physicochemical characteristics and their relationship with microorganisms were determined in two representative plots (Santa Martha and Los Cedros) of 1/4 ha, located in different physiographic units. Zigzag sampling was carried out at a depth of 20 cm for physicochemical properties, sending the samples to the soil laboratory at Agronomy-UNAS, where some properties were determined in situ. For microbiological parameters, samples were collected at a depth of 10 cm from the side of each plant and taken to the microbiology laboratory at UNAS. The data were processed in SPSS, and the parameters were correlated.

The soils in the plots are clay loam. The bulk density ranged from 1.35 g/cm³ (Los Cedros) to 1.49 g/cm³ (Santa Martha). Penetration resistance was higher in Santa Martha (2.55 k/cm²) than in Los Cedros (1.50 k/cm²). The temperature was 28°C in both plots. The pH was strongly acidic (<5.5). Organic matter was medium, with very low phosphorus and potassium levels and a low CEC. The microbial count was higher in Santa Martha. The same fungal species were identified as being more present in Santa Martha, except for *Fusarium* sp. and the *Klebsiella* bacteria, which were more abundant in Los Cedros due to its low, flooded terrace physiography. Only perfect positive correlations were considered (Figures 16; 18; 19; 21 and 22).

Keywords: Physical, chemical, microbiological characteristics, microbial correlation.

I. INTRODUCCION

El suelo es un recurso fundamental para la sostenibilidad de los agroecosistemas, desempeñando funciones esenciales como medio de crecimiento vegetal y actividad biológica, regulación del flujo hídrico y degradación de contaminantes. Es crucial analizar el estado actual de sus indicadores físico-químicos-biológicos y compararlos con valores de referencia, caracterizando los sistemas para analizar la influencia del manejo y componentes en el suelo. Las prácticas cacaoteras pueden afectar significativamente la calidad del suelo al alterar sus indicadores. Dada la importancia de la calidad del suelo y la falta de información para los agricultores del sector Bolsón Cuchara con cultivos de cacao, es imperativo abordar esta carencia.

La contaminación del suelo, agua y aire, agravada por prácticas agrícolas inapropiadas y factores como el cambio climático, la demografía y la agricultura migratoria, representa un grave problema ambiental. El crecimiento poblacional impulsa la expansión de las actividades humanas y productivas, generando cambios físicos, químicos y biológicos en los suelos.

Los microorganismos, componentes vitales del suelo, transforman compuestos orgánicos e inorgánicos, influyendo en la nutrición vegetal, la estabilidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Aunque tradicionalmente relegados en la investigación y producción de cultivos, la creciente evidencia sobre su impacto positivo en la actividad microbiana en suelos agrícolas ha resaltado su importancia para la agricultura sostenible.

En la actualidad la información que se tiene del dicho tema es muy limitada sin saber a ciencia cierta si hay alguna relación de los microorganismos y sus parámetros fisicoquímicos del suelo con cultivo de cacao por tal motivo se realizó la presente investigación con el objetivo fundamental de aportar mayores conocimientos entre la relación existe de microorganismo y sus características fisicoquímicas del suelo con cultivos de cacao. Puesto que a los agricultores de la zona en estudio no les interesa el estado del suelo ya que ellos solo se centran en mejorar la producción y calidad de su cultivo para tener mejores cosechas lo que a largo plazo resulta mayores ganancias para los agricultores, es por ello que sin saberlo aplican nutrientes a la planta mas no al suelo afectando así la fertilidad y calidad del suelo.

En base a todo lo expuesto se formula la siguiente interrogante ¿existe alguna relación entre los microorganismos y las características físicas y químicas de un suelo con cultivo de cacao?

Y ante esta interrogante se plantea la hipótesis: **H_a**: la relación entre microorganismos y las características físicas y químicas de un suelo con cultivo de cacao influye en la calidad del

suelo, esta investigación quedara como precedente ante el desconocimiento de dicho tema; ante todo lo explicado la presente investigación se orientó a determinar los siguientes objetivos:

1.1.Objetivo general

- Determinar las características físicas y químicas de un suelo con el cultivo de cacao y su relación con los microorganismos en el sector de Bolsón Cuchara.

1.2.Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y químicas de suelos con cultivos de cacao.
- Relacionar las propiedades físicas y químicas con los microorganismos presentes en el suelo con cultivos de cacao.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Definición del suelo

El suelo, componente esencial de la tierra y los ecosistemas, sustenta el desarrollo de los cultivos. Definido como un cuerpo natural con capas (horizontes) compuestas por minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Formado por la acción del clima, la topografía, los organismos y los materiales parentales (rocas y minerales), el suelo difiere de su origen en textura, estructura, consistencia, color y propiedades fisicoquímicas y biológicas (FAO, 2015).

2.2. ¿Qué es el suelo?

Es la capa superficial biológicamente activa de la tierra, resultado de la desintegración fisicoquímica de las rocas y la descomposición de los organismos vivos. Esta mezcla compleja de materia orgánica, minerales, agua, aire y organismos vivos se forma lentamente a lo largo de los siglos. Los microorganismos descomponen plantas y animales muertos, transformándolos en materia orgánica que se integra al suelo (JARAMILLO, 2002).

El agua es vital para la vida de los organismos del suelo y las plantas, permitiendo a estas últimas conservar sus tejidos, transportar nutrientes y realizar la fotosíntesis. Las raíces absorben el agua, facilitando la captación de minerales y materia orgánica disueltos. La falta de agua detiene el desarrollo de los cultivos, mientras que el exceso desplaza el aire necesario para la respiración de las raíces y la transformación del nitrógeno por las bacterias, nutriente esencial para las plantas. (LOZANO, 2014).

El suelo bulle con miríadas de formas de vida, en su mayoría invisibles. Una hectárea fértil alberga más de 300 millones de invertebrados, como insectos, arañas y lombrices. Incluso una cucharada de tierra puede contener un millón de bacterias y cientos de miles de levaduras y hongos. Aunque todos los componentes del suelo son importantes, su equilibrio es crucial. La materia orgánica y los microorganismos, al aportar nutrientes y aglutinar partículas minerales, crean un entorno favorable para la respiración, absorción de agua y nutrientes, y desarrollo radicular de las plantas. Lombrices, bacterias y hongos producen *humus*, forma estable de materia orgánica que retiene agua y nutrientes, y previene la erosión. Por lo tanto, el manejo sostenible del suelo debe fomentar la actividad microbiana y mantener o aumentar la materia orgánica. (DE LA ROSA, 2008).

2.2.1. Composición del suelo

El suelo está compuesto por fases sólida, líquida y gaseosa:

- **Sólidos:** Principalmente un esqueleto mineral compuesto por rocas como silicatos (micas, cuarzos, feldspatos), óxidos de hierro y aluminio (limonita, goetita, gibbsita, boehmita), carbonatos (calcita, dolomita), sulfatos (aljez), cloruros, nitratos y materia orgánica como el humus.
- **Líquidos:** Agua con iones, sales y sustancias orgánicas disueltas. Se desplaza por capilaridad, transportando sustancias a través del perfil del suelo.
- **Gaseosos.** Gases atmosféricos como oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), así como hidrocarburos como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), cuya composición varía según la naturaleza del suelo.

2.2.2. Componentes del suelo productivo

El suelo se origina por la meteorización de rocas volcánicas, descompuestas por la lluvia, las variaciones de temperatura y la actividad biológica (FERNANDEZ y LEIVA, 2003). Este proceso produce fragmentos minerales de diversos tamaños que, al mezclarse con materia orgánica, agua y aire, constituyen el suelo.

Sus componentes principales son:

- Materia orgánica la cual se forma de la descomposición de material vegetal.
- Materia inorgánica de las partículas de arena, limo y arcilla derivadas de la meteorización.
- Aire de los espacios entre partículas, esencial para microorganismos y la respiración de las raíces.
- Agua es fundamental para la productividad agrícola.

Un suelo agrícola productivo idealmente contiene 45% de materia inorgánica, 5% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire (WILD, 1992).

2.2.3. Tipos de suelos

Existen muchos tipos de suelo, cada uno de ellos resultado de distintas etapas de formación, sedimentación, deposición del viento, erosión y desechos orgánicos. Se clasifican según dos criterios diferentes, a saber, por características estructurales y físicas.

2.2.3.1. Según su estructura. Podemos hablar de:

- Suelos arenosos: no pueden retener agua y son escasos en MO, lo que los hace menos fértiles.
- Suelos calizos: ricos en minerales cálcicos y por tanto salinos, lo que los hace duros, secos y blancos.

- Suelo húmedo: suelo negro, rico en materia orgánica descompuesta, buena retención de agua y muy fértil.
- Suelos arcillosos: está formada por finas partículas amarillentas que retienen muy bien el agua, por lo que se encharcan con facilidad.
- Suelos pedregosos: Compuestos por rocas de distintos tamaños, son muy porosos y no retienen en nada el agua.
- Suelos mixtos: Suelos mezclados, por lo general entre arenosos y arcillosos.

2.2.3.2. Según sus características físicas. Podemos hablar de:

- Litosoles: Suelos delgados (hasta 10 cm) con vegetación baja, también llamado “leptosoles”.
- Cambisoles: Suelos jóvenes con acumulación inicial de arcilla.
- Luvisoles: Suelos arcillosos con saturación de bases $\geq 50\%$.
- Acrisoles: Suelos arcillosos con saturación de bases $< 50\%$.
- Gleysoles: Suelos con presencia constante o casi constante de agua.
- Fluvisoles: Suelos jóvenes de depósitos fluviales, generalmente ricos en calcio.
- Rendzina. Suelos ricos en MO sobre piedra caliza.
- Vertisoles: Suelos arcillosos negros, ubicados cerca de escurrimientos y pendientes rocosas.

2.2.4. Factores de formación de suelos

Los científicos del suelo clasifican los cinco factores formadores del suelo en activos (clima y biota) y pasivos (tiempo, topografía y material parental). Los factores activos influyen directamente en el desarrollo del suelo a través de elementos observables como la lluvia, el viento, la temperatura, los microorganismos y las lombrices. Los factores pasivos, en cambio, ejercen su influencia de manera menos directa. (INTAGRI, 2017).

- **El material parental:** proceden principalmente de las rocas, estas sustancias determinan en gran medida el color, la composición, la textura y la estructura del suelo. Sin embargo, un mismo tipo de roca produciría suelos con propiedades diferentes, dependiendo de las condiciones ambientales en las que evolucionaron.
- **El clima:** Es uno de los factores que incide directamente en la formación del suelo, ya que define el ritmo de meteorización de la roca madre. Los factores climáticos más importantes en la formación del suelo son la temperatura y la precipitación. Estos dos parámetros climáticos influyen en la tasa de meteorización química y el crecimiento de la población de organismos, así como en la tasa de descomposición de la M.O.

- **Relieve:** La formación de la superficie terrestre juega un rol necesario en la formación del suelo. El relieve afecta a la distribución del agua obtenida mediante la precipitación y por tanto incide directamente en la etapa de erosión hídrica. En general, las superficies de tierras altas con relieve inclinado o convexo pierden más agua por escorrentía, arrastrando consigo sedimentos y, por tanto, tienen suelos menos profundos. Por otro lado, la superficie inferior de un cóncavo o depresión recibe agua y sedimentos adicionales, por lo que el suelo se desarrolla más profundamente.
- **Organismo:** Diferente a las actividades orgánicas (plantas y organismos del suelo). El suelo fino y joven tiene poca vegetación. Cuanto mayor sea la vegetación y los organismos, mayor será el grado de meteorización.
- **El tiempo:** cambia desde tiempos cortos de exposición hasta tiempos largos de exposición a elementos y agentes. Más tiempo: más meteorización, suelo desarrollado
Menos tiempo: menos meteorización, suelo menos desarrollado.



Figura 1. Factores de formación del suelo

2.2.5. El suelo como sistema ecológico

El suelo es un complejo sistema físico, químico y biológico que sustenta la vida en la superficie terrestre. Alberga microorganismos y fauna edáfica, siendo un hábitat característico de ecosistemas terrestres, con pocos equivalentes acuáticos. No todo terreno es suelo; afloramientos rocosos o regolito no lo son. (DE LA ROSA, 2008).

Sus características biológicas cruciales son la permeabilidad, estructura y composición química. Retiene nutrientes minerales liberados por la descomposición orgánica, esenciales para la productividad agrícola. En ecosistemas naturales, suelos más desarrollados se correlacionan con mayor biomasa y diversidad, siendo tanto producto como condición de estos. En la jerarquía ecológica, el suelo es un ecosistema y un subsistema de uno mayor. (FERNANDEZ & LEIVA, 2003).

2.2.6. Suelo vegetal

El suelo vegetal, rico en materia orgánica de organismos autótrofos, suministra los componentes químicos requeridos para el crecimiento de cultivos, animales y humanos. Las plantas y microorganismos autótrofos producen MO a partir del CO₂ del aire y agua y sales minerales del suelo, utilizando la luz solar y clorofila. Esta materia orgánica sustenta las cadenas tróficas (JAIME, LOPEZ y POCH, 2019).

La MO de plantas y animales muertos retorna al suelo, donde los descomponedores la transforman en sustancias simples reutilizables por las plantas, formando el suelo vegetal, base de la agricultura. El suelo vegetal puede agotarse por la extracción de minerales por las plantas. Según su composición, puede ser arenoso, arcilloso, rocoso u orgánico, y sirve como base alimenticia para muchos animales del suelo, cuyos restos contribuyen a la formación del humus. (CORREA, 2013).

2.2.7. Fertilidad de los suelos

Definida por su productividad, depende de factores químicos, físicos y biológicos que afectan la disponibilidad de nutrientes. Altos rendimientos exigen un diagnóstico preciso de la fertilidad del suelo y la calidad del agua, logrado mediante muestreo adecuado, análisis rigurosos y control de calidad. La correcta interpretación de estos análisis permite una fertilización ajustada al rendimiento objetivo. Otros factores clave incluyen el manejo de la labranza, la selección de genotipos y fechas de siembra, la optimización de la radiación mediante la disposición de las plantas, las estrategias de fertilización, la sanidad del cultivo, el suministro de agua y la aireación del suelo. (YAQUE, 2019).

2.2.8. Indicadores de la calidad de suelos

A diferencia del agua y el aire, el suelo carece de estándares de calidad definidos por su alta variabilidad, lo que dificulta su medición y regulación. La calidad del suelo es evaluada mediante indicadores que reflejan los cambios en su capacidad y función (ACEVEDO 2005).

Estos indicadores son herramientas de medida que ofrecen datos sobre etapas y características del suelo, permitiendo el seguimiento de los efectos del manejo a lo largo del tiempo. Además, simplifican, cuantifican y comunican fenómenos complejos para analizar la sustentabilidad del suelo como medio productivo y recurso natural esencial para la calidad de vida y la biodiversidad. Los indicadores de la calidad del suelo serian parametros fisicoquímicos y biológicos; que permiten:

- Análisis de la situación actual para identificar puntos críticos en el desarrollo sostenible.
- Evaluación de impactos potenciales previo a intervenciones.
- Monitoreo del impacto de intervenciones antrópicas.
- Determinación de la sostenibilidad del uso de recursos.

Estos indicadores detectan cambios, especialmente biológicos, en el suelo, cruciales para analizar la sostenibilidad del manejo y su impacto en la producción. Por lo tanto, la calidad del suelo es un indicador primario esencial para el manejo y la agricultura sostenibles.

2.2.9. Condiciones que deben cumplir los indicadores de la calidad del suelo

Para ser considerados indicadores de calidad del suelo, los indicadores fisicoquímicos y biológicos deben:

- Ser integradores
- De fácil medición, objetivos y fácilmente reconocibles.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Enfocarse en aspectos prácticos y claros.
- Ser aplicables a un amplio rango de ecosistemas y condiciones.
- Permitir la diferenciación entre los sistemas.
- Ser de fácil comprensión.

Dado que el suelo es un ecosistema complejo, la evaluación de su calidad requiere un enfoque multifactorial que incluya indicadores fisicoquímicos, biológicos, productivos y sociales. (DORAN y PARKIN 1994)

LARSON & PIERCE (1991), DORAN & PARKIN (1994) & SEYBOLD (1997) propusieron un conjunto mínimo de indicadores fisicoquímicos y biológicos para estudiar la calidad del suelo, eliminando variables imprecisas o irrelevantes. Estos indicadores deben analizarse en conjunto para comprender los indicadores y funciones del suelo. La

selección de indicadores específicos para estudiar la calidad del suelo puede cambiar según la localidad, dependiendo del tipo de suelo, su uso y los factores de formación.

2.2.10. Características físicas del suelo

Están determinadas por factores como la roca madre, la edad del suelo, el relieve, el clima, la vegetación, la fauna y la actividad humana. Los indicadores fisicoquímicos del suelo, junto con los factores climáticos, influyen en la vegetación y fauna que pueden prosperar y en las prácticas de cultivo adecuadas (OWEN & ERIC, 1995).

La estructura del suelo, influenciada por el tamaño de sus partículas minerales, determina sus propiedades físicas en condiciones húmedas y secas. Estas propiedades, interrelacionadas, incluyen la textura, el drenaje, la capacidad de retención de agua, la plasticidad, la facilidad de penetración de las raíces, la aireación y la retención de nutrientes. (OWEN & ERIC, 1995)

El suelo, fundamental para la vida vegetal, presenta parámetros y características enormemente variadas según su tipo e historia regional. Sin embargo, destacan:

Variabilidad. Su composición es heterogénea, con elementos de diverso tamaño y naturaleza, a pesar de su apariencia homogénea.

Fertilidad. La fertilidad, relacionada con la presencia de agua, MO y porosidad, se refiere a la capacidad del suelo de albergar nutrientes esenciales como nitrógeno y azufre.

Mutabilidad. El suelo experimenta constantes transformaciones físicas y químicas, aunque a largo plazo.

Solidez. La solidez y textura varían; algunos suelos son compactos y rígidos, mientras que otros son maleables y blandos, dependiendo de su historia geológica.

– Textura

USDA (2006) la textura del suelo es definida como la cantidad (en porcentaje en masa) de partículas (arena, arcilla y limo) con un diámetro inferior a 2 mm en la capa de la tierra. En los problemas de las ciencias de la tierra, las partículas del suelo se dividen en elementos gruesos (diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm). Este último se utiliza para determinar la parte estructural del suelo.

Es una expresión cualitativa de la granulometría o distribución del tamaño de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla).

Los suelos se clasifican en:

Arenosos: Suelos, de grano grueso, con poca MO y baja retención de agua. Se erosionan fácilmente y son pobres en nutrientes, lo que limita su uso agrícola.

Arcillosos: De grano fino, densos y de color amarillento o rojizo. Retienen mucha agua, drenan mal y se secan lentamente. Si contienen humus, pueden ser ricos en nutrientes y aptos para la agricultura.

Ácidos: Con pH inferior a 5.5, presentan toxicidad por aluminio y deficiencias de nutrientes esenciales para las plantas (Ca, Mg, K, P, Mo).

Limosos: De grano intermedio, pesados y pobres en nutrientes.

Francos: Mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Fértiles y forman terrones que se deshacen fácilmente.

Calizos: Ricos en sales calcáreas, de color blanco o pardo, comunes en zonas áridas. Su uso agrícola es limitado.

Humíferos (tierra negra): Ricos en MO en descomposición, de color oscuro, con buena retención de agua, ideales para el cultivo.

Pedregosos: Formados por rocas de diversos tamaños, sin retención de agua y no aptos para la agricultura.

Mixtos: Con propiedades intermedias entre suelos arenosos y arcillosos.

Alcalinos: Arcillosos, con pH elevado, estructura densa y pobre, baja infiltración y permeabilidad. Difíciles de cultivar.

La composición textural de un suelo se determina en laboratorio, generando 12 grupos texturales distintos.

Las clases texturales, con valores numéricos determinados en laboratorio según la proporción de arena, limo y arcilla, presentan combinaciones casi infinitas. Sin embargo, se han definido doce clases básicas, ordenadas por contenido creciente de partículas finas, y aplicables a la clasificación del suelo. (Zavaleta, 1992).

La textura del suelo se define por la proporción de partículas minerales menores de 2 mm: arena, limo y arcilla (Carrasco, 2008). Las combinaciones de estos componentes determinan la clasificación textural. Por ejemplo, los suelos arenosos contienen un 70% o más de arena, mientras que las arenas arcillosas poseen entre un 15% y un 30% de limo y arcilla. Los suelos arcillosos, con más de un 40% de arcilla, contienen hasta un 45% de arena o un 40% de limo, clasificándose como franco arenoso o arcilloso limoso. (Carrasco & Ortiz, 2011).

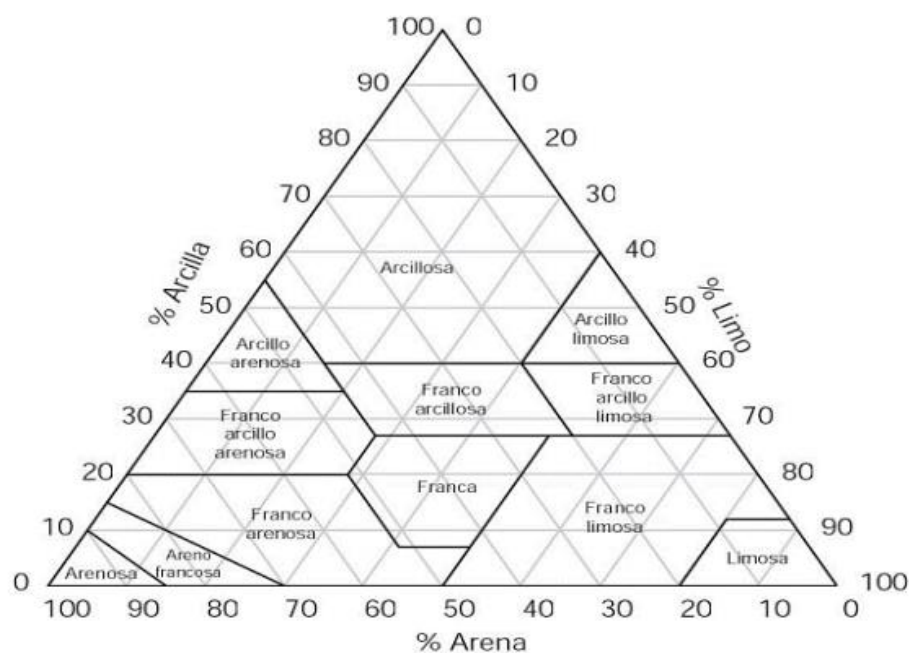
Tabla 1. Agrupamiento general de las clases texturales

Grupo textural	Denominación empírica	Clases Textural
Arenoso	Suelos de textura gruesa (Ligeros)	Arenas Arenas Franca
	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco Arenoso Franco Arenoso fino Franco Arenoso muy fino Franco
Franco	suelos de textura media (Mediano)	Franco Limoso Limoso Franco Arcilloso
	suelos de textura moderadamente fina (Pesado)	Franco Arcillo Arenoso Franco Arcillo Limoso
		Arcillo-Arenoso
Arcilloso	suelos de textura fina (Muy pesado)	Arcillo-Limoso Arcilloso

Las combinaciones de arena, limo y arcilla normalmente se describen de las siguientes maneras:

- textura fina; suelos formados por partículas de arcilla
- textura media; suelos de naturaleza limosa
- textura gruesa; suelos con alto contenido de arena.

El triángulo de textura de suelos según la FAO se usa como una herramienta para clasificar la textura de la siguiente manera:

**Figura 2.** Clases texturales del suelo

– **Densidad aparente**

La densidad aparente, un parámetro clave de la calidad del suelo relevante en agricultura, definido como la masa del suelo por unidad de volumen. Refleja la estructura, resistencia mecánica y cohesión del suelo, y sus variaciones, relacionadas con la porosidad total, señalan cambios estructurales. Los valores críticos para el desarrollo radicular cambian según la textura del suelo y la especie vegetal. Debido al incremento del riego y la compactación, la medición precisa de la densidad aparente es cada vez más importante (Folegatti et al., 2001).

A diferencia de la textura y la estructura, la DA se relaciona con propiedades físicas como la porosidad, compactación, aireación y distribución de poros, sirviendo como indicador de compactación y limitaciones al crecimiento radicular. Los valores típicos, que generalmente aumentan con la profundidad, oscilan entre 1,0 y 1,7 g/cm³. (Acevedo y Martínez, 2003).

Tabla 2. Rangos interpretativos para la DA y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g.cm⁻³)	Densidades aparentes que pueden afectar el Crecimiento radicular (g.cm⁻³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g.cm⁻³)
Areno, areno-franco	< 1,60	1,69	>1,80
Franco-arenosa, franco	< 1,40	1,63	>1,80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1,40	1,60	> 1,75
Limosa, franco-limosa	< 1,30	1,60	> 1,75
Franco-limosa, franco arcillo - Limosa	< 1,40	1,55	> 1,65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, franco arcillosas (35- 45% de arcilla)	< 1,10	1,39	> 1,58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1,10	1,39	1,39 > 1,47

Tabla 3. Densidad aparente y Densidad relativa de los suelos de acuerdo con su grupo textural.

Grupo textural	g/cm ³	
	Da	Dr
Franco arenoso	1,35 – 1,44	2,53 – 2,63
Franco	1,34 – 1,50	2,56 – 2,66
Limoso	1,35 – 1,49	2,45 – 2,65
Franco limoso	1,24 – 1,54	2,49 – 2,58
Franco arcilloso	1,35 – 1,49	1,74 – 2,78
Arenoso	1,34 – 1,49	2,58 – 2,66
Arcillo limoso	1,24 – 1,46	2,49 – 2,59
Arcilla	1,18 – 1,34	2,54 – 2,64

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

– Porosidad del suelo

Las clases texturales, basadas en la proporción de arena, limo y arcilla, se determinan numéricamente en laboratorio. Aunque las combinaciones posibles son virtualmente infinitas, se han definido doce clases texturales básicas, ordenadas según el contenido creciente de partículas finas, que se aplican al suelo.

Tabla 4. Relación textura/densidad aparente y porosidad del suelo.

Clase textural	Da g/cm ³	% Porosidad
Arenoso	1,6 – 1,8	30 - 35
Franco Arenoso	1,4 – 1,3	35 - 40
Franco	1,3 – 1,4	40 - 45
Franco Limoso	1,2 – 1,3	45 - 50
Arcilloso	1,0 – 1,2	50 - 60

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

– Resistencia del suelo

Este parámetro indica su nivel de compactación, lo cual restringe el desarrollo radicular y limita la disponibilidad de aire y agua para las raíces. Junto con la materia orgánica, el pH y los nutrientes, la resistencia a la penetración ayuda a determinar la actividad biológica del suelo (Herrick & Jones, 2002).

La compactación reduce el movimiento de aire y agua, dificulta la penetración de las raíces y, paradójicamente, puede aumentar la difusión de nutrientes al acercar las partículas del suelo. En general, la compactación altera los parámetros físicos del suelo, incrementando la resistencia a la penetración y la DA, y disminuyendo la porosidad.

Tabla 5. Niveles de resistencia a la penetración del suelo

k/cm²	Nivel de resistencia
< 1	Suelos muy suaves
1 - 2	Suelos suaves
2 - 3	Suelos duros
3 - 4	Suelos muy duros
> 4	Suelos extremadamente duros

Fuente: Bazán (1996), citado por Huamán, (2021)

– **Temperatura**

La temperatura influye significativamente en el desarrollo, floración y fructificación de los cultivos. La temperatura del suelo está inversamente relacionada con la cobertura vegetal, ya que esta última modula la radiación neta que alcanza la superficie terrestre. MINAG, (2009).

2.2.11. Propiedades Químicas

La química del suelo depende de su composición mineral y orgánica y debe tener niveles ricos y equilibrados de N, P, K, Ca y Mg. La MO está compuesta principalmente de carbono, oxígeno e hidrógeno y se enriquece mediante la descomposición de plantas y animales muertos. Este proceso está mediado por microorganismos, liberando nutrientes que pueden ser reutilizados por la planta (NAVARRO & NAVARRO, 2003).

Los indicadores químicos del suelo (nutrientes disponibles, carbono orgánico total, pH, conductividad, absorción de fosfato, CIC, MO, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable) reflejan las condiciones que dañan las interacciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora y la disponibilidad de agua y nutrientes.

– **Materia orgánica (M. O)**

La materia orgánica del suelo (MO) incluye residuos vegetales y animales en distintos estados de descomposición, tejidos y células de organismos del suelo y las sustancias que estos producen. El humus es la parte más estable de la MO y resulta de la descomposición avanzada de materiales biológicos. La fracción orgánica regula fases químicas, afecta las propiedades fisicoquímicas y modula la actividad biológica del suelo, incluida su microflora y fauna.

– **Niveles de materia orgánica**

Las investigaciones muestran que el contenido de MO varía mucho. Por tanto, los mismos valores tienen significado a nivel regional. Así, mientras que el 2% es

mayor en los valles aluviales de la costa, en las zonas montañosas el valor será menor y en las tierras bajas del Amazonas será promedio. Por lo tanto, los niveles bajos, medios-altos y muy altos deben juzgarse a nivel regional y en función a lo que el cultivo específico necesite.

Tabla 6. Niveles de materia orgánica en el suelo

Nivel	Contenido M O (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 – 4
Alto	mayor de 4

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

– pH

El pH del suelo, una propiedad fundamental que regula la descomposición de la MO y los nutrientes disponibles, mide la acidez o alcalinidad del suelo (potencial de hidrógeno, o el negativo del logaritmo de la actividad de H⁺). Influye directamente en la solubilidad, disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales para las plantas (P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu), así como en la saturación de bases intercambiables, la CIC y la actividad microbiana.

El rango óptimo de pH para el cacao es entre 5.5 y 6.5. Un buen sustrato para este cultivo consiste en 50% de suelo, 25% de MO y 25% de arena.

– Reacción pH

La reacción del suelo, expresada como pH, es un parámetro químico crucial que afecta la disponibilidad de nutrientes, los parámetros bioquímicos del suelo, y, por ende, la vida de los microorganismos y la asimilación de elementos esenciales por los cultivos.

Tabla 7. Niveles de pH del suelo

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4,5
Fuertemente ácido	4,6 - 5,4
Moderadamente ácido	5,5-6,5
Neutro	6,6-7,3
Moderadamente alcalino	7,4-8,5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8,5

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

– El pH y los microorganismos del suelo

Las bacterias y actinomicetos son más activos en suelos minerales con un pH de 5,0 a 6,5 y $<5,0$; su actividad disminuye significativamente cuando el pH es inferior a 5,5. La nitrificación y la fijación de nitrógeno atmosférico sólo se producen a valores de pH superiores a 5; a valores de pH más bajos, el amoníaco se reduce considerablemente; Las plantas, por otro lado, crecen en un rango de pH muy amplio, dificultando determinar la respuesta más adecuada.

2.2.12. Fosforo en el suelo

El fósforo es el macronutriente más limitante para el rendimiento de los cultivos, esencial para numerosos procesos bioquímicos y el desarrollo de las plantas. Junto con el N y el K, es fundamental para la fotosíntesis, el suministro de nutrientes y el crecimiento radicular. Su disponibilidad óptima se sitúa entre pH 6,5 y 7,5, rango en el que la mineralización de compuestos orgánicos e inorgánicos de fósforo es máxima. En suelos ácidos, el aluminio y el hierro solubles precipitan el fósforo, mientras que en suelos alcalinos (pH $> 7,5$), el calcio forma compuestos insolubles con el fosfato, reduciendo su disponibilidad.

Tabla 8. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen)

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	< 5
Bajo	5,1 – 15
Normal	15,1 – 30
Alto	30,1 – 40

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.2.13. Potasio en el suelo

El potasio en el suelo cumple un rol vital en la reducción del potencial osmótico del agua celular, disminuyendo la pérdida de agua de las hojas e incrementando la capacidad de las células de las raíces para absorber agua. También se le conoce como el factor básico y de calidad que contribuye al óptimo desarrollo de la producción agrícola. Esencial para la fotosíntesis y los carbohidratos, activando más de 60 sistemas enzimáticos y optimizando la regulación del agua en los tejidos vegetales al participar en estas etapas metabólicas, el potasio contribuye al crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos. (FAO, 2015)

Tabla 9. Niveles de contenido de potasio en el suelo

Nivel	Potasio Kg/ha
Muy Bajo	menos de 300
Medio	300 – 600
Alto	más de 600

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.2.14. Nitrógeno en el suelo

Es un nutriente esencial y ampliamente distribuido en la naturaleza, que las plantas asimilan como amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). Aunque abundante, se encuentra mayormente en formas inorgánicas no directamente utilizables. El sistema atmósfera-suelo-plantas obtiene nitrógeno mediante deposición atmosférica, agua de riego, fijación microbiana, mineralización de MO y fertilización. Las pérdidas gaseosas de óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), amoníaco (NH_3) y nitrógeno molecular (N_2) son mínimas. El N llega al suelo a través de la MO y la fijación bacteriana, siendo luego incorporado por plantas, animales y microorganismos. (FAO, 2015)

Tabla 10. Niveles de contenido de nitrógeno

Nivel	Nitrógeno (%)
Bajo	< 0,1
Medio	0,1 – 0,2
Alto	> de 0,2

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

2.2.15. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos (CIC)

La CIC es una propiedad fundamental del suelo, que refleja su habilidad para retener cationes debido a las cargas negativas del complejo coloidal. La CIC se correlaciona con la textura: es mayor en suelos de textura fina (ricos en arcilla) y menor en suelos de textura gruesa (arenosos o margosos), debido a su baja proporción de arcilla coloidal y humus. Los cationes importantes para el crecimiento vegetal son Ca, Mg, K y amonio (NH_4^+), que actúan como nutrientes, así como sodio (Na) e hidrógeno (H), que influyen en los nutrientes disponibles y humedad. En suelos ácidos, el hidrógeno y el aluminio predominan entre los cationes. Una CIC baja indica una reducida capacidad de retención de nutrientes, característica de suelos arenosos o pobres en materia orgánica.

– Factores de CIC

La CIC del suelo depende principalmente de la arcilla del suelo y la MO. La arcilla tiene una capacidad de 10-150 cmol(+)Kg) y la MO tiene una capacidad de 200-400 cmol(+)Kg), siendo esta última la de mayor influencia. Varios factores afectan la CIC, incluyendo el tamaño de las partículas (a menor tamaño, mayor CIC), el tipo de cationes intercambiables y el pH. Los cationes más comunes en el suelo son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} . En suelos ácidos predominan H^+ y Al^{3+} , en alcalinos Na^+ , y en neutros Ca^{2+} . Todos los cationes adsorbidos, excepto H^+ y Al^{3+} (acidez de reserva), considerados bases. El porcentaje de saturación de bases indica la proporción de bases respecto a la CIC total.

Tabla 11. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH > 5,5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menos de 12
Medio	12 – 20
Alto	mayor de 20

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

Tabla 12. Niveles de la capacidad de intercambio catiónico (pH < 5,5)

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menor de 4
Medio	10 - 20
Alto	mayor de 30

Fuente: Soil Survey Staff (1993)

2.2.16. Magnesio intercambiable

SAGARPA (2012) menciona que el magnesio es esencial para la clorofila y, por ende, para la fotosíntesis. Su deficiencia es común en suelos arenosos con baja CIC y en suelos ácidos.

Tabla 13. Rangos interpretativos de magnesio (Mg) intercambiable.

Nivel	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)
Muy Bajo	Mg < 0.5
Baja	0.5 ≤ Mg < 1.3
Medio	1.3 ≤ Mg < 3.0
Alto	Mg ≥ 30

Fuente: Sagarpa (2012)

2.2.17. Calcio intercambiable

El calcio es crucial para la estructura del suelo, siendo un catión intercambiable clave en la degradación por salinización. Aunque abundante en suelos de regiones semiáridas, su baja solubilidad limita su disponibilidad. Incluso en ambientes con mayor precipitación, la lixiviación y la extracción por cultivos pueden reducir su presencia, disminuyendo el pH y nutrientes disponibles.

El calcio mitiga los efectos de la salinidad, especialmente del Na, en suelo y planta. Al ser un catión bivalente, desplaza al sodio del complejo de cambio, promoviendo la agregación en suelos salinos y reduciendo la toxicidad del sodio en las plantas, junto con la interacción de otros cationes.

Tabla 14. Niveles de rango para el calcio (Ca) intercambiable

Nivel	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)
Muy Bajo	Ca < 2
Baja	2 ≤ Ca < 5
Medio	5 ≤ Ca < 10
Alto	Ca ≥ 10

Fuente: Sagarpa (2012).

2.2.18. Potasio intercambiable

El potasio, junto con el N y el P, es un macronutriente esencial para las plantas. Se absorbe del suelo como catión K⁺, y su disponibilidad depende de la liberación de potasio intercambiable, especialmente en suelos arcillosos. Los cultivos requieren grandes cantidades de K para su crecimiento y desarrollo.

Tabla 15. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable.

clase	K (Cmol ⁽⁺⁾ /Kg)
Muy Baja	K < 0.2
Baja	0.2 ≤ K < 0.3
Mediana	0.3 ≤ K < 0.6
Alta	K ≥ 0.6

Fuente: Sagarpa (2012).

2.2.19. Sodio intercambiable

Aunque el sodio no es un nutriente esencial, puede sustituir al potasio en algunos casos. Muchas especies vegetales minimizan la toxicidad del sodio mediante

mecanismos que limitan su absorción y traslocación a las hojas, acumulándolo en tallos, troncos y raíces.

La toxicidad foliar se manifiesta en manchas necróticas intervenales, pero el exceso de Na puede inducir deficiencias de K, Ca y Mg.

Tabla 16. Rangos interpretativos para sodio (Na) intercambiable

Clase	Na (Cmol ⁽⁺⁾ Kg)
Muy Baja	$0.0 \leq \text{Na} < 0.3$
Baja	$0.3 \leq \text{Na} < 0.6$
Normal	$0.6 \leq \text{Na} < 1$
Alto	$1 \leq \text{Na} < 1.5$
Muy alto	$\text{Na} \geq 1.5$

Fuente: Sagarpa (2012).

2.2.20. Aluminio intercambiable

Es la presencia de aluminio (Al³⁺) en la solución del suelo lo que causa el desarrollo de la acidez del suelo. El aluminio mueve arcilla para que otras categorías interactúen con agua y liberen hidrógenos. Entre el suelo con un pH <5, el aluminio es un factor dañino para atraer en forma de iones, y se ha demostrado que este tipo de iones son muy tóxicos para la planta original que causa la inhibición de la raíz.

- **Saturación de aluminio:** La saturación de Al es la relación que existe entre el aluminio intercambiable del suelo y la CICE, así cuando el porcentaje de saturación de Al es alto se produce una restricción del crecimiento y actividad de las raíces que afecta la absorción de agua y nutrientes para que finalmente el cultivo sea productivo y rentable.

2.2.21. Porcentaje de saturación de bases cambiables

En el suelo, encontramos los cationes ácidos (H y Al) y los básicos (Ca, Mg, K y Na). La proporción de cationes básicos que se adhieren a las partículas del suelo se conoce como el porcentaje de saturación de bases. Un suelo con un pH de 7 (pH=7) se considera neutro y tiene una saturación de bases del 100%, lo que significa que no hay iones de hidrógeno presentes en las partículas del suelo. La saturación de bases está estrechamente relacionada con el pH del suelo y se utiliza principalmente para analizar la cantidad de cal necesaria para neutralizar un suelo ácido. (FAO, 2015).

2.2.22. Porcentaje de ácidos cambiables

La acidez potencial indica la cantidad de protones unidos al complejo de intercambio, que, aunque no disociados, pueden liberarse al neutralizarse la disolución del suelo, reflejando la tendencia a la acidificación. Este proceso altera negativamente la composición mineral, orgánica y húmica del suelo.

2.2.23. Propiedades biológicas de suelo

Los indicadores biológicos, especialmente la abundancia de macroinvertebrados, son valiosos para evaluar la calidad del suelo por su sensibilidad y rápida respuesta a los cambios. Las propiedades biológicas del suelo, como las poblaciones de lombrices y el rendimiento de cultivos, son señales tempranas de degradación o mejora.

Además, los parámetros biológicos y bioquímicos (respiración edáfica, biomasa microbiana, actividades enzimáticas, microorganismos) son sensibles al estrés ambiental, fáciles de medir y útiles para interpretar la dinámica de la MO y la transformación de residuos. La actividad microbiológica, incluyendo la fijación de nitrógeno y la descomposición de residuos, también refleja rápidamente los efectos sobre la materia orgánica.

2.2.24. Macrofauna y sus efectos sobre el suelo

La fauna edáfica tritura y mezcla el material del suelo, contribuyendo a su estructuración, permeabilidad, aireación y formación de horizontes. La bioturbación puede homogeneizar el suelo, eliminando características preexistentes. La dominancia de una población animal específica tiende a uniformizar la actividad, generando contrastes con el material subyacente.

Los artrópodos, en particular los colémbolos (abundantes en los primeros 5 cm), fragmentan la MO, aumentando su superficie. Las lombrices de tierra, con una biomasa estimada de 10 toneladas por 0.4 ha/año, mezclan la MO con los compuestos minerales, movilizándolo a la superficie el volumen equivalente a los primeros 22 cm del suelo en 50 años.

Tabla 17. Actividades de la fauna en los procesos de descomposición y la estructura del suelo.

Categoría	Ciclaje de nutrientes	Estructura del suelo
Microfauna (4 µm– 100 µm)	Regulan las poblaciones de bacterias y hongos. Alteran el ciclaje de nutrientes	Pueden afectar la estructura del suelo a través de interacciones con la microflora.
Mesofauna (100 µm – 2 mm)	Regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna. Alteran el ciclaje de nutrientes.	Producen pelotas fecales. Crean bioporos.

	Fragmentan detritos vegetales.	Promueven la humificación.
Macrofauna (2 mm – 20 mm)	Regulan los hongos y la microfauna.	Descomponen partículas orgánicas y minerales
	Estimulan la actividad microbiana.	Redistribuyen la materia orgánica y microorganismos
		Promueven la humificación. Producen pelotas fecales.

Fuente: CORREIA (2000).

2.2.25. Microorganismos del suelo

Definido como un cambio en la vida del suelo en el que los microorganismos presentes juegan un rol necesario e integral en mantener de la fertilidad y mineralización del suelo, ya que el suelo cuenta con gran variedad de microorganismos, tanto en cantidad como en tipo, pero esto dependerá de distintos factores ambientales como los nutrientes propios del suelo, la fertilización, la humedad, la aireación, la temperatura, el pH y las prácticas agrícolas. La actividad biológica del suelo es el resultado de las funciones fisiológicas del desarrollo normal de los microorganismos.

Los microorganismos que nos podemos encontrar en el suelo tienen diferentes formas y tamaños, entre los principales están las bacterias, los actinomicetos, los hongos, virus y los protozoos. Las bacterias tienen una gran capacidad de multiplicación por lo que pueden crear poblaciones grandes en poco tiempo, todo esto representan solo el 0.1 - 2% del volumen total del suelo en los pastizales; sin embargo, están involucrados en el 90% de las funciones del ecosistema que trabajan con otros elementos esenciales como el oxígeno, carbón, azufre y fósforo, todos estos son reciclados por microorganismos que cumplen un rol indispensable en el mantenimiento de la población microbiana.

2.2.26. Importancia de los microorganismos

Los microorganismos son cruciales para la vida del suelo, impulsando su transformación y desarrollo. Un gramo de suelo puede contener millones de microorganismos beneficiosos para los cultivos, incluyendo bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. La fertilidad del suelo depende de una adecuada reserva de nutrientes disponibles o de una población microbiana que favorezca el crecimiento vegetal.

2.2.26.1. Microorganismos aerobios viables

La versatilidad de los microorganismos les permite prosperar en diversos entornos, desde temperaturas extremas hasta ambientes salinos o carentes de oxígeno.

Algunos desarrollan fases latentes ante la escasez de nutrientes. Su diversidad metabólica les permite adaptarse a múltiples condiciones.

En el suelo, un entorno competitivo por nutrientes y energía, coexisten hongos (incluyendo levaduras), bacterias, arqueobacterias, actinomicetos, protozoos, algas y virus. Los subproductos de su metabolismo modifican la química del suelo, generando una evolución constante en respuesta a las presiones ambientales.

2.2.27. Población microbiana del suelo

La mayoría de los suelos albergan entre 10^8 y 10^{10} microorganismos por gramo, siendo las bacterias las más abundantes (hasta 10^8 individuos por gramo y 10^4 a 10^6 especies distintas). Los actinomicetos y los hongos son los siguientes grupos más numerosos, alcanzando entre 10^6 y 10^7 individuos por gramo, representados por más de 10^6 especies diferentes.

2.2.27.1. Bacterias del suelo

Estos son los microorganismos más comunes y pequeños de 0.1 a 1 micras, pueden ser aerobios (desarrollado con oxígeno), anaeróbico (desarrollado sin oxígeno) u opcional (desarrollado con o sin oxígeno). Pueden soportar el pH de ácido (acidófilas), pH básico (basilófilas) o pH neutro (neutrofilias). En suelo ácido, cierta neutrofilias tiene la capacidad de neutralizar el suelo que crecen para realizar su función.

Las bacterias son monómeros procarióticos, la mayoría de las esferas, cocos o de bastón bacilos existentes son importantes ya que a algunas funciones específicas, como la oxidación de MO.

2.2.27.2. Tipos de bacterias encontradas en el suelo

- **Pseudomonas:** metabolizan un amplio intervalo de compuestos incluyendo los pesticidas y los hidrocarburos.
- **Clostridium:** anaerobios, pueden producir reducciones del Carbono orgánico a Metano. Algunos son patógenos para el hombre, otros pueden fijar nitrógeno atmosférico.
- **Nitrosomonas:** Bacterias aerobias mesófilas (óptimo 30-35°C) con pocas exigencias de pH y temperatura, que participan en la nitrificación.
- **Cianobacterias:** (anteriormente algas verdeazuladas) fotosintéticas, habitan cerca de la superficie del suelo, prefiriendo ambientes neutros o básicos y húmedos. Géneros como Nostoc y Anabaena fijan el N atmosférico incorporándolo a aminoácidos.

- **Nitrobacter:** Bacterias que obtienen energía de la oxidación de nitritos, responsables de la nitratación.
- **Enterobacter aerogenes:** Bacilo Gram negativo de la familia Enterobacteriaceae.
- **Enterobacter agglomerans:** hoy conocido como Pantoea agglomerans es un bacilo gram negativo.
- **Klebsella:** están ampliamente distribuidos en el suelo se propagan a través de la formación de esporas. Es gram negativas, anaerobias facultativas, la klebsella es un frecuente patógeno humano.
- **Bacilos:** son bacterias que se encuentran en distintos ambientes y solo son observadas con un microscopio. son utilizados como bioplaguicidas para el control de enfermedades fúngicas.
- **Bacillus sp:** promueve el crecimiento vegetal mediante de la solubilización de fósforo y la producción.

2.2.27.3. Los actinomicetos

Las bacterias Gram positivas autóctonas del suelo son procariontas que forman un grupo importante con hifas, lo que les da una morfología micelar similar a los hongos. Saprofitas y quimioautótrofas, realizan respiración aeróbica, aunque carecen de membrana nuclear, característica que las acerca más a las bacterias. No poseen pigmentos fotosintéticos y, por lo tanto, no fotosintetizan. Su densidad poblacional es directamente proporcional a la MO del suelo, donde contribuyen a la formación de humus al degradar celulosa, hemicelulosa, lignina, parafina y quitina. Muestran resistencia parcial a suelos ácidos.

2.2.27.4. Los lactobacillus

Los Lactobacillus, bacterias beneficiosas comunes en el suelo y la superficie de las plantas, son un grupo de bacterias del ácido láctico que mejoran la salud del suelo. Al aumentar la MO, mejoran la estructura del suelo, reteniendo agua y nutrientes disponibles para las raíces de las plantas.

2.2.27.5. Bacterias fijadoras de nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno, conocidas desde hace más de un siglo, son biofertilizantes ecológicos. Se dividen en simbióticas, como Rhizobium, específicas de leguminosas, y libres, como Azotobacter y Azospirillum, que viven en el suelo sin necesidad de la planta para reproducirse.

2.2.28. Hongos del suelo (Fungi)

Los hongos, una fracción importante de la biomasa microbiana del suelo, crecen como micelio y se reproducen por esporas. Como degradadores aerobios clave del material vegetal en descomposición, especialmente en suelos ácidos, producen enzimas y metabolitos que transforman la materia orgánica, beneficiando a otros microorganismos.

Desempeñan funciones clave en la mecanización del agua, asimilación de nutrientes y supresión de enfermedades. Junto con las bacterias, descomponen materia orgánica compleja en formas utilizables, integrándose en la red alimentaria del suelo. Sus hifas unen partículas del suelo, creando agregados estables que mejoran la infiltración y retención de agua.

En suelos bien aireados y cultivados, los hongos dominan la microflora total debido al gran diámetro y extensión de sus hifas, especialmente en capas orgánicas de bosques y ambientes ácidos.

- **Rhizopus sp:** Hongo saprofito que coloniza el suelo y parasita tejidos vegetales en descomposición. Se caracteriza por un micelio denso y ramificado compuesto por estolones, esporangióforos y rizoides.
- **Aspergillus:** Hongo filamentoso saprofito esencial en la degradación de MO, con el suelo como hábitat natural donde sobrevive y se desarrolla. Es uno de los hongos más abundantes en la naturaleza.
- **Fusarium:** Patógeno que forma clamidosporas de resistencia, permitiéndole sobrevivir largos periodos en el suelo. Se dispersa principalmente por escorrentía, hospedándose en residuos de cultivos o plantas.
- **Penicillium sp:** Hongo filamentoso saprofito del filo Ascomycota. Las colonias crecen rápidamente, inicialmente blancas, adquiriendo posteriormente colores como azul, azul verdoso, verde, gris oliva o rosados, con reverso amarillo.

2.2.28.1. Numeración de mohos y levaduras

Las levaduras son hongos unicelulares microscópicos, muy abundantes en la naturaleza y presentes en el suelo y en plantas (semillas, frutos, flores, etc.).

Los hongos producen una amplia gama de enzimas (amilasas, proteasas, lipasas y fosfatasas) esenciales para los procesos entre plantas, macrofauna y microfauna del suelo, y fundamentales en la descomposición. Su presencia permite evaluar la alteración y el estado de restauración de los suelos en diversos ecosistemas.

2.2.29. Microorganismos benéficos del suelo

En agricultura, destacan como organismos benéficos *Rizobium*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhodococcus*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, *Streptomyces* y micorrizas. Bacterias, levaduras y hongos filamentosos son ampliamente utilizados, con una diversidad estimada en más de 100,000 especies entre levaduras y hongos, y 11,000 especies de bacterias (BIOSCA, 2001).

Estos microorganismos transforman la materia orgánica en nutrientes inorgánicos asimilables por las plantas a través de las raíces, mejorando la estructura y las propiedades físicas de la tierra. La asociación natural entre macroorganismos benéficos (hongos y bacterias) y las raíces de las plantas favorece una simbiosis en la absorción de nutrientes y agua.

2.2.30. Microorganismos más utilizados en la agricultura

Las micorrizas, rizobacterias y *Trichoderma* son los grupos más utilizados en la agricultura, influyendo en la interacción suelo-planta-microorganismos y, por ende, en el crecimiento y desarrollo vegetal.

Además, existe una extensa y creciente lista de microorganismos candidatos para la fertilización, incluyendo diferentes especies de bacterias (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, etc.), levaduras (*Saccharomyces*, *Candida*, etc.) y hongos (*Glomus*, *Trichoderma*, etc.).

La agricultura moderna, frente a nuevos desafíos, integra enfoques ecológicos y moleculares para maximizar el rendimiento de los cultivos y minimizar el impacto ambiental. Las investigaciones en biotecnología han incrementado el interés en los microorganismos benéficos del suelo.

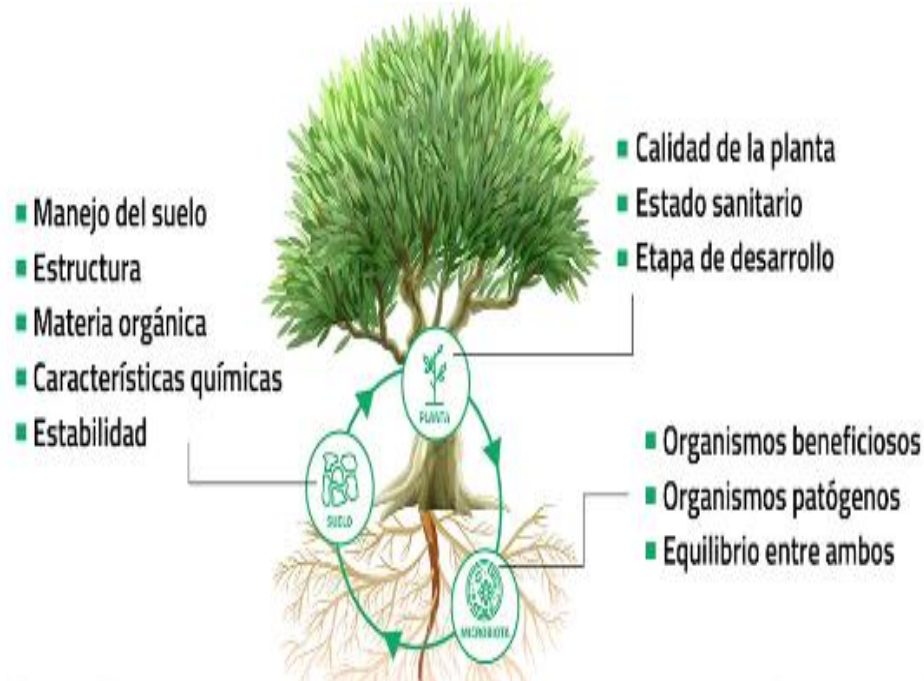


Figura 3. Interacción suelo-planta-microorganismos (fuente Tarazona 2015)

2.2.31. Que es un suelo productivo

El suelo es la capa superior de la tierra, compuesta por una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, agua, aire y microorganismos. Se forma a partir del desgase lento de la roca madre por la acción de fenómenos climáticos, digestión microbiana, enzimas segregadas por plantas, y la sedimentación de materiales inorgánicos transportados por ríos, mares y vientos (VICENTE, 2019).

El suelo alberga una vasta cantidad de microorganismos, superando en número a los animales terrestres. En la superficie, abundan algas, diatomeas, ácaros, colémbolos, cochinillas, larvas de insectos y lombrices. Las lombrices son particularmente importantes, ya que sus galerías facilitan el desarrollo de las raíces y sus excrementos retienen agua y nutrientes esenciales para las plantas (RUIZ, 2008).

El suelo sustenta a las plantas y es el sitio de etapas bioquímicas que generan nutrientes esenciales. Su espesor cambia, desde unos pocos centímetros hasta varios metros. Sirve como fuente de nutrición para la vida terrestre, alimentando y sosteniendo a las plantas, que a su vez son la base de la alimentación directa o indirecta de todos los seres vivos. (RUIZ, 2008).

2.2.32. Suelos saludables

Se consideran suelos saludables aquellos que permiten el máximo crecimiento de las plantas sin enfermedades, plagas o suplementos externos. Estos suelos están repletos de bacterias, hongos, algas, protozoos, nematodos y otros microorganismos que protegen a las plantas y mantienen la productividad.

La agricultura orgánica depende de la diversidad de estos microorganismos, incluyendo bacterias, hongos unicelulares, microalgas y protozoos. Estos organismos forman parte del ecosistema del suelo junto con la flora y fauna, y son esenciales para su supervivencia. Constituyen la microfauna y microflora del suelo, la base de la cadena alimenticia, y juegan un papel crucial en el ciclo de nutrientes que sustenta la vida vegetal y animal. Estos microorganismos transforman las propiedades del suelo mediante cambios biológicos, químicos y físicos. (JIMENEZ, 2017).

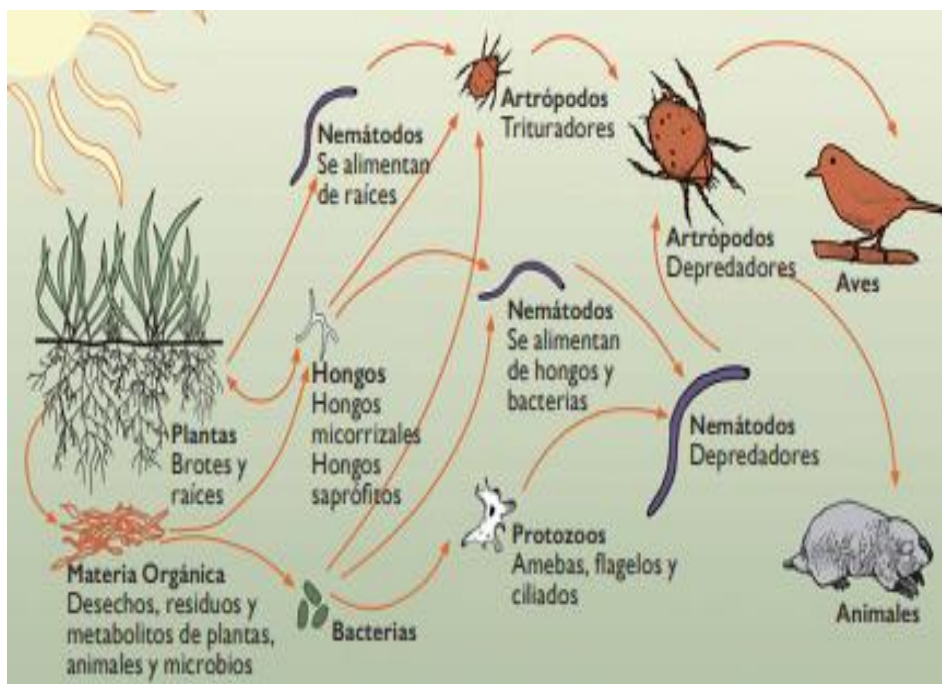


Figura 4. La cadena alimenticia del suelo (Fuente: Ingham, 2000)

El suelo saludable tiene grandes y diferentes poblaciones de microorganismos, tiene mucha MO y resiste los cambios causados por el tratamiento del suelo, la sequedad y las inundaciones. El mono cultura, combinado con un aumento en el uso intensivo de la entrada química reduce la calidad y la biodiversidad del ecosistema del suelo, lo que hace que sea imposible su durabilidad, sostenibilidad y productividad a largo plazo. Estos métodos de cultivo exponen el daño causado por el cambio climático adverso y las plagas menores y los

ataques de enfermedades en el suelo, condiciones que reducen su productividad contra él. (WOLKWSKI, 1990).

- Mantener y generar materia orgánica sembrando los cultivos de cobertura y aplicando estiércol vegetal (compost).
- Rotaciones bajas de cultivos cada año para cambiar los patógenos.
- Intercalar cultivos mixtos donde puede proporcionar un hábitat diferente.
- Use semillas sin enfermedad o contaminantes.
- Reemplace los nutrientes extraídos en la estación de cultivo usando animales y minerales.
- Evite los nutrientes de alta solubilidad, especialmente aquellos con un alto índice de sal o contienen compuestos contaminantes.

2.2.33. Relación entre salud y nutrición de las plantas

Las plantas necesitan aire, agua y nutrientes para sobrevivir, pero su salud depende de complejas interacciones biológicas. La mayoría de las plantas terrestres se han adaptado a suelos con microorganismos simbióticos, mutualistas y parásitos. Si bien la investigación en enfermedades vegetales se ha enfocado en interacciones patológicas, los beneficios de las relaciones planta-microorganismo son bien conocidos. Un ejemplo clave es la simbiosis entre rizobios y leguminosas, donde las bacterias fijan nitrógeno atmosférico en las raíces, nutriendo a la planta. Las legumbres, como frijoles y guisantes, se benefician de esta fijación de nitrógeno. (IBAÑEZ, 2007).

Un suelo sano sustenta la producción de cultivos sin necesidad de insumos sintéticos ni pesticidas. La reposición de materia orgánica facilita ciclos de nutrientes sostenibles, especialmente el del nitrógeno. Fuentes de MO incluyen cultivos de cobertura, abono vegetal o composta, y otros materiales de origen vegetal y animal (ZAVALA, 2007).

Cuando los cultivos de cobertura florecen, deben cortarse e incorporarse al suelo. Los fertilizantes vegetales, materia orgánica en descomposición rica en microorganismos, reciclan nutrientes y crean suelos saludables. La MO protege el suelo de la lixiviación y volatilización del nitrógeno. Además, los microorganismos mejoran la biodisponibilidad de nutrientes para los cultivos mediante la descomposición de la MO y reacciones bioquímicas con la fracción mineral del suelo (YANARICO, 2016).

2.2.34. Relación de suelos y plantas

Los microorganismos son esenciales para conservar la fertilidad y la salud del suelo y las plantas, y desempeñan un rol necesario en el crecimiento saludable de los cultivos. Además, el suelo es un elemento vivo en el que viven millones de microorganismos

macroscópicos y, en el que ocurren muchos procesos biológicos, químicos y físicos que son casi imperceptibles a simple vista, ya que en su mayoría ocurren donde el ser humano no puede verlos (LOZANO, 2014).

Entre otras razones, el impacto de ciertos químicos sintéticos utilizados a lo largo de los años fuera de sus usos recomendados, sumado al impacto natural de la agricultura industrial en el suelo, ha llevado a una reducción en la carga microbiana del suelo, creando deficiencias de nutrientes y haciendo del suelo un lugar hospitalario para el crecimiento de ciertas plagas y patógenos antagonistas, tanto para las plantas como para los humanos. (LOZANO, 2014).

2.2.35. El cacao

Originario de la cuenca superior del Amazonas, en el triángulo formado entre Colombia, Ecuador y Perú, el cacao alcanzó su apogeo cultural entre los aztecas de Mesoamérica y luego fue llevado a Europa, donde finalmente se consumió ampliamente. Las características edafoclimáticas apropiadas para el cultivo de cacao es que la topografía de los terrenos debe ser de plana a ondulada, con un rango de altitud de 0 – 1000 msnm, los suelos deben tener un pH entre 4.5 – 6.5, de textura franco arcilloso – arenoso, un nivel freático mayor a 1m; en cuanto al clima la temperatura promedio de 25 °C, precipitación entre 1500 – 2500 mm anual, humedad relativa de 45 – 85%; el cultivo de cacao tiene una baja tolerancia a los vientos fuertes, la planta alcanza una altura de 3 a 4 metros (SIPAE, 2016).

Tabla 18. Descripción del cacao

Nombre científico	Teobroma Cacao L
Nombre común	Cacao
Origen	Perú
Color interno del grano	marrón oscuro
Olor	característico, exento de olores extraños, mohó, quemado, humo, etc.
Sabor	Acido, dulce
Numero de granos/100g	70 a 75 granos
Vida útil	8 meses

Fuente: boletín del agro banco del año 2012



2.2.36. El cultivo de cacao en el Perú

El cacao es un cultivo que se encuentra en la región baja de la vertiente occidental de los Andes, aunque su desarrollo principal ha ocurrido en la selva peruana, entre

los 300 y 900 m.s.n.m. A principios de los 2000, la producción de cacao atravesó una etapa de baja productividad, con rendimientos deficientes. En la zona de Quillabamba, los rendimientos alcanzaban alrededor de 500 kg/ha, mientras que en Tingo María la producción promedio era de 300 kg/ha. En la actualidad, las parcelas bien gestionadas a nivel nacional están logrando rendimientos superiores a los 800 kg/ha. (DE LOS RIOS, 2000).

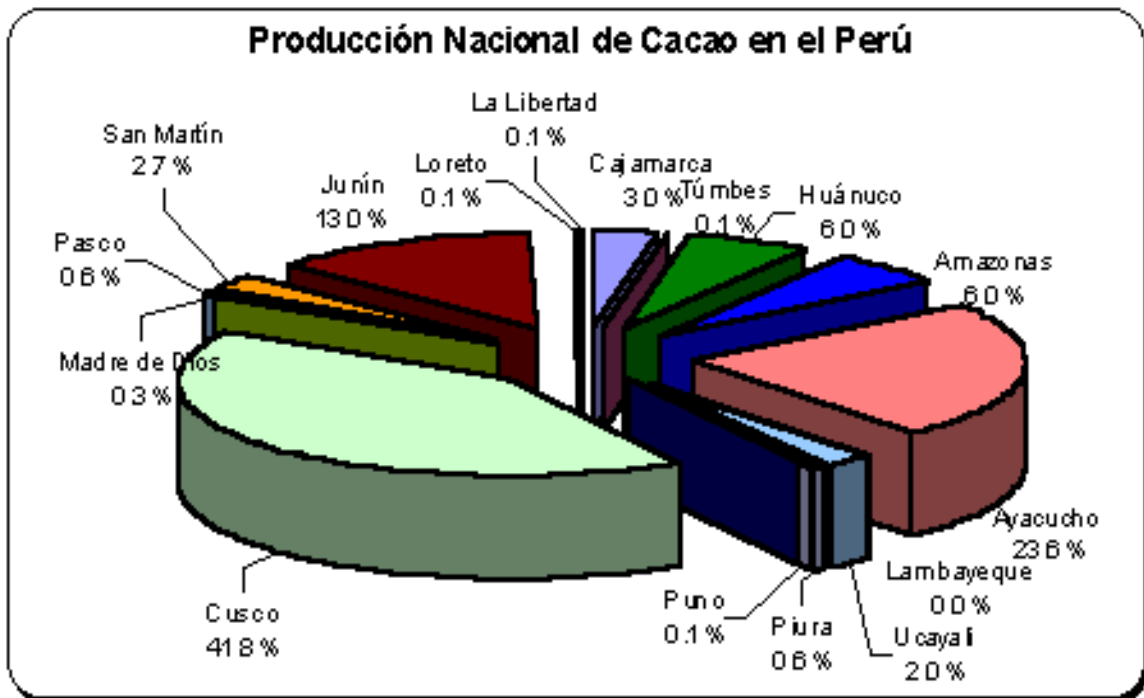


Figura 5. Producción nacional de cacao en el Perú (fuente: ministerio de agricultura)

2.2.37. Características agronómicas y botánicas del cacao

2.2.37.1. Raíz

La planta de cacao tiene una raíz principal pivotante que penetra profundamente en el suelo, además de contar con numerosas raíces secundarias, la mayoría de las cuales se localizan en los primeros 30 cm del terreno. Por lo tanto, el primer requisito para establecer una plantación comercial es contar con suelos profundos, que tengan una gran cantidad de raicillas o pelos absorbentes ubicados entre 0 y 5 cm de profundidad. (PAREDES, 2004).

2.2.37.2. El Tallo

El cacao presenta dos tipos de tallos: ortotrópicos (verticales), que forman el primer verticilo a 80-100 cm de altura en plantas provenientes de semillas, y plagiotrópicos (horizontales), característicos de plantas injertadas. Anualmente, se desarrolla otra rama ortotrópica, creando un nuevo verticilo, hasta alcanzar tres o cuatro verticilos y una altura de hasta 10 metros. (PAREDES, 2004).

2.2.37.3. Hojas

Las hojas de cacao poseen pulvínulos, protuberancias que permiten la orientación hacia el sol. Generalmente simples, enteras y de textura fina, varían considerablemente en color (café claro, morado, rojizo o verde pálido) y tienen un pecíolo corto.

2.2.37.4. Flores

Las flores, hermafroditas con una viabilidad de 48 horas, emergen de cojines florales (1-40 flores por cojín). Se polinizan de forma cruzada, dificultando la autofecundación, y se desarrollan en la base de la hoja, alrededor de la cicatriz de la yema axilar en ramas o troncos maduros. (PAREDES, 2004).

2.2.37.5. Fruto

El fruto del cacao es una baya tiene formas variables, pero generalmente tienen forma de baya elipsoidal, ovoide, fusiforme, oblonga o esférica de 10 a 35 cm de largo y 10 cm de diámetro pesa de 200 a 500 gramos, siendo lisos o acostillados, de forma elíptica y de color rojo, amarillo, morado o café. La pared del fruto es gruesa, dura o suave y de consistencia como de cuero (PAREDES, 2004).

El fruto del cacao se divide en cinco celdas internas, con una pulpa aromática de color blanco, rosa o marrón, y sabor variable entre ácido y dulce. Cada baya contiene de 20 a 40 semillas planas o redondeadas, de color blanco, marrón o púrpura, con sabor dulce o amargo. Estas semillas, conocidas como mazorcas, se clasifican en Criollo, Forastero/Amazónico y Trinitario. La maduración del fruto tarda entre 5 y 6 meses para el tipo Trinitario, 6 a 7 meses para Criollo/Forastero, y 6 a 8 meses de tipo Amazónico.

2.2.37.6. Semilla

Las semillas de cacao son polimorfos, es decir, tienen diferentes formas, como aplanadas, elipsoides, ovoides o triangulares, y miden entre 2 y 4 cm de largo, estando cubiertas por un mucílago. Después de ser fermentadas y secadas al sol, las semillas se separan de su tegumento, y una vez tostadas, se extraen los principales componentes del chocolate. (PAREDES, 2004).

2.2.38. Requerimiento de suelos para el cultivo del cacao

El crecimiento y la producción óptimos del cacao requieren condiciones fisicoquímicas favorables tanto en los primeros 30 cm del suelo, donde se concentra la mayoría de las raíces activas, como en los horizontes inferiores. Estos últimos aseguran la fijación adecuada del cultivo y el desarrollo irrestricto de la raíz principal, que alcanzaría 1.5 m de profundidad. (MILLAN y DAVIS, 2014).

Los suelos aluviales, francos y profundos con subsuelo permeable son los más apropiados para el cacao. Los suelos arenosos, con mínima retención de humedad, son menos recomendables. Se prefieren suelos ricos en materia orgánica ($\geq 3.5\%$), profundos (1.5 m), bien drenados, con topografía regular y un pH entre 5.5 y 7 (PAREDES, 2004).

Los suelos negruzcos, menos lixiviados, son preferibles, al igual que un subsuelo de fácil penetración y profundidad adecuada. La profundidad del suelo es clave para el almacenamiento de agua. En zonas con precipitaciones mayores a 3,000 mm, una profundidad efectiva de 1 m garantiza la estabilidad de la planta y el suministro hídrico (Paredes, 2004).

2.2.39. Drenaje

El drenaje depende del clima, la topografía, el riesgo de inundaciones y la capacidad del suelo para retener humedad y airearse. Los problemas de drenaje interno se originan por variaciones texturales, especialmente la presencia de texturas arcillosas en el subsuelo que dificultan el movimiento del agua.

2.2.40. pH del suelo

El pH del suelo es crucial para la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes. El cacao prospera a un pH de 6.0 a 6.5, aunque se adapta a rangos de 4.5 a 8.5, donde la producción disminuye y requiere correctivos.

2.2.41. Materia orgánica

La materia orgánica mejora la nutrición del suelo y de la planta, influyendo positivamente en las condiciones físico biológicas, promoviendo una buena estructura y evitando la erosión. Además, alimenta los microorganismos del suelo y al descomponerse, genera humus rico en calcio, magnesio y potasio.

2.2.42. Topografía

La topografía influye significativamente: terrenos accidentados dificultan la mecanización, incrementan la erosión y provocan pérdida de suelo fértil. Se recomienda el uso de barreras vivas y muertas, siembra a curvas de nivel y coberturas vegetales para la conservación del suelo. En pendientes mayores al 15%, se prefiere el trabajo manual, mientras que en menores se permite la mecanización, lo que también disminuye la incidencia de moniliasis.

2.2.43. Muestreo de suelos

El muestreo de suelos es fundamental para diagnosticar el estado nutricional y determinar la fertilización adecuada. Un muestreo correcto es esencial para el éxito del

análisis, considerando las variaciones del suelo en profundidad y área. El análisis correcto requiere un manipuleo adecuado por el técnico de laboratorio y el uso apropiado de instrumentos y reactivos (FORSYTHE, 1975).

POCH (2019) define el muestreo como la remoción de una pequeña porción de suelo. El muestreo tradicional se enfoca en indicadores físicos y químicos, asumiendo homogeneidad en el área. Sin embargo, el muestreo para indicadores biológicos y microbiológicos requiere variaciones en la recolección para obtener resultados más precisos.

2.2.43.1. Tipos de muestreo

- **Muestreo del perfil del suelo.** Implica extraer muestras de cada horizonte hasta la sección de control para clasificación taxonómica, cartografía de suelos y estudios de fertilidad potencial.
- **Muestreo superficial del suelo.** se enfoca en la capa arable (20-30 cm) para diagnosticar la fertilidad actual y planificar programas de fertilización.

2.2.43.2. Toma de muestreos para análisis físicos, químicos y microbiológicos

Para obtener una muestra representativa del suelo, es crucial identificar y considerar las fuentes de variabilidad del terreno, como el relieve, la textura y el manejo agronómico. Se deben tomar varias submuestras en diferentes puntos del campo para crear una muestra final. Para el recuento de hongos y bacterias mesófilas aerobias, hongos totales, actinomicetos, bacterias solubilizadoras de P y fijadoras de N, biomasa y respiración microbiana, se puede utilizar una pala recta siguiendo una guía de muestreo de suelo específica para el análisis deseado.

2.2.43.3. Análisis de suelos

El análisis de suelos evalúa la suficiencia o deficiencia de nutrientes e identifica condiciones adversas (acidez, salinidad, toxicidad) que afectan los cultivos. Su objetivo es evaluar la fertilidad mediante análisis físicos y/o químicos, extrayendo un componente del suelo y transformándolo para su análisis. (POCH, R. 2019).

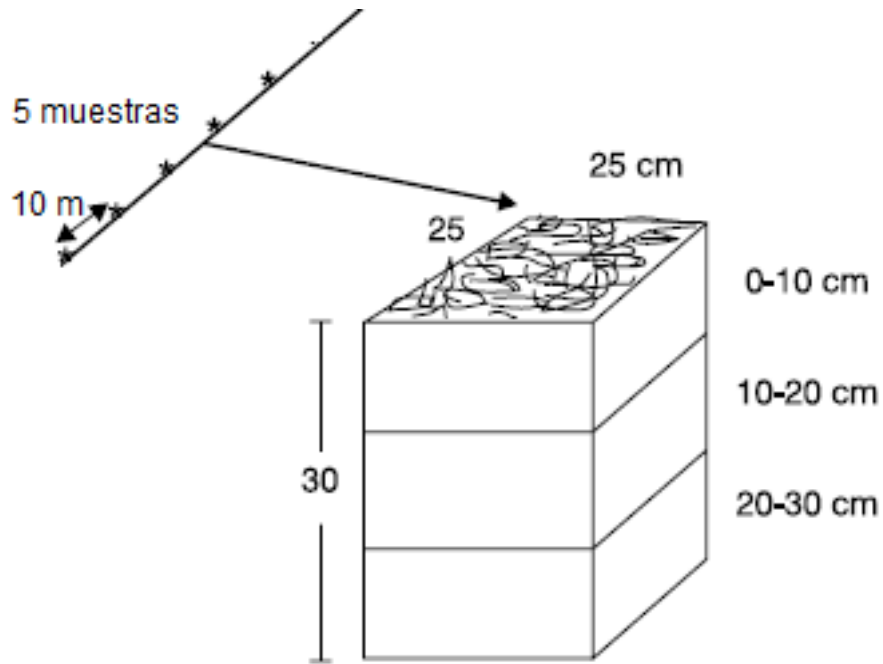


Figura 6. Esquema del plan de muestreo

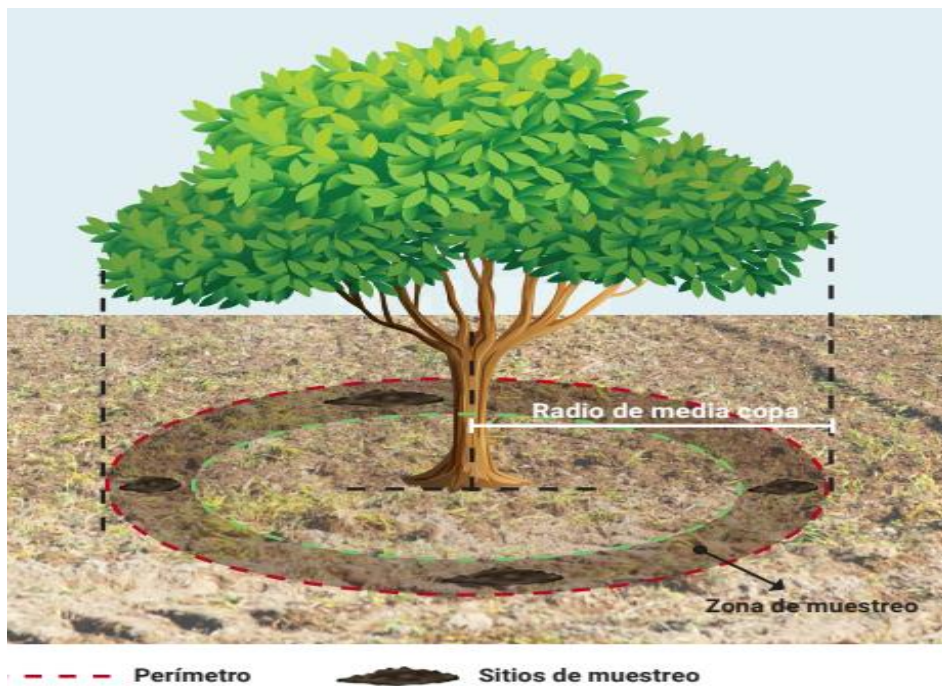


Figura 7. Zona de muestreo en árboles frutales, forestales, frutales, ornamentales, etc.

2.3.Estado del arte

2.3.1. Antecedentes

Palacios (2020) investigó la relación entre las propiedades del suelo, la diversidad de arvenses y el rendimiento de *Theobroma cacao* L. (CCN-51), empleando SPSS21

para correlacionar los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la tierra con la diversidad de arvenses y el rendimiento del cacao, y para generar un modelo matemático.

Vásquez (2019) estudió los parámetros fisicoquímicos de suelos bajo especies forestales (BRUNAS) y su relación con microorganismos, buscando demostrar la influencia microbiana en bosques tropicales.

Lozano (2014) investigó cómo las interacciones planta-microorganismo afectan la dinámica de comunidades vegetales, buscando comprobar si las comunidades microbianas influyen en las interacciones entre plantas tras el abandono de tierras de cultivo. Se realizaron experimentos de campo e invernadero, complementados con análisis físico-químicos y biológicos, para evaluar el impacto de plantas y sus microorganismos asociados en el éxito competitivo de una comunidad vegetal.

Ruiz (2012) estudió la influencia de los microorganismos del bokashi en las características fisicoquímicas de suelos de cultivo de cacao, con el objetivo de cuantificar este impacto en la calidad de la tierra.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1.Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

Políticamente el sector Bolsón Cuchara pertenece a los distritos de Rupa Rupa y José Crespo y Castillo, pertenecientes ambos a la provincia de Leoncio Prado, región de Huánuco.

Esta investigación fue realizada en dos caseríos del sector del Bolsón Cuchara, que está ubicada a la margen izquierda de la ciudad de Tingo María en la provincia de Leoncio Prado – Huánuco.

Tabla 19. Ubicación geográfica de los dos caseríos de bolsón cuchara y sus parcelas representativas en cada caserío.

Sectores	Coordenadas UTM		Altura msnm
	Este	Norte	
Los Cedros	376145	8993560	624
PR	376498	8993548	616
Santa Martha	371008	8994811	690
PR	370967	8994506	689

Fuente: elaboración propia (PR = parcela representativa)

Así mismo, el trabajo de gabinete fue realizado en los laboratorios de análisis de suelos de la facultad de agronomía y en el laboratorio de microbiología de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.1.2. Ubicación geográfica

El sector Bolsón Cuchara geográficamente está ubicado en la coordenada UTM (Zona 18L, Datum WGS 84). La geografía de la zona presenta paisajes variados y una altitud que varía entre 500 y 3500 msnm.

3.1.2.1.Límites

Los límites del sector Bolsón Cuchara son:

- Por el Sur: Merced de Locro
- Por el Norte: Puerto Alegre de Mohena
- Por el Oeste: Monzón
- Por el Este: La Roca

3.1.3. Características generales del lugar de ejecución

El área del sector Bolsón Cuchara comprende los caseríos de Venenillo, Bartolomé Herrera, Santa Martha, Julio Cesar Tello, Corvina, Los Cedros y Chontayacu, de las cuales las áreas en estudio específicamente están ubicadas en los caseríos de Los Cedros que está ubicado a una altura de 616 msnm y Santa Martha que se encuentra a una altura de 689 msnm, es en estos dos caseríos están ubicadas las parcelas representativas de cacao. Los productores del Sector Bolsón Cuchara, aprovechan hasta la actualidad un total de 850 hectáreas de cacao, que a su vez constituye uno de los cultivos más importantes de la zona.

3.1.4. Aspectos ambientales

3.1.4.1. Clima

El sector Bolsón Cuchara presenta un clima cálido y lluvioso, según la clasificación climática del SENAMHI, con precipitaciones abundantes durante 5 meses del año. El promedio anual de precipitación es de aproximadamente 3937 mm, variando en intensidad, duración y frecuencia, siendo los meses más lluviosos de diciembre a marzo y los más secos de mayo a septiembre. La humedad relativa es alta, con una media mensual de 85.5%, fluctuando según el ciclo de lluvias. Durante la temporada de lluvias (diciembre – marzo), se registran los promedios más altos de humedad y temperatura, que oscila entre 20°C y 33°C, con una media de 28°C.

3.1.4.2. Fisiografía

El área de estudio se caracteriza por terrenos mayormente planos, aunque también presenta pendientes del 0 al 25%. La heterogeneidad del terreno, con altitudes entre 500 y 3500 msnm, define geoformas influenciadas por el relieve y el clima. El análisis fisiográfico identifica relieves suaves y ondulados como las unidades predominantes, resultado de factores tectónicos, orogénicos, litológicos y la acción de agentes erosivos y de deposición de sedimentos, identificando dos grandes paisajes o geoformas (Proyecto Especial Alto Huallaga – PEAH, 2017).

a. Terraza Baja Inundable (Tb1)

Estas llanuras aluviales, de topografía suavemente ondulada y escasa pendiente (1-2%), se inundan estacionalmente por la cercanía a los ríos Huallaga y Cuchara, lo que permite la agricultura estacional. Los caseríos de Venenillo, Corvina y Los Cedros se ubican en sus márgenes.

b. Terraza Baja no Inundable (Tb2)

Son terrenos casi planos con ligeras ondulaciones, formados por la deposición aluvial de materiales de grano grueso a moderadamente fino. Su topografía, con

pendientes de 1 a 3.5%, dificulta la inundación, como se observa en los caseríos Julio Cesar Tello, Chontayacu, Bartolomé Herrera y Santa Martha.

3.1.5. Hidrografía

El sector Bolsón Cuchara tiene como principales fuentes hidrográficas a los ríos aguaje, Corvina, Santa Martha y múltiples afluentes del río Cuchara. Todos estos afluentes desembocan en el cauce principal que es el río Huallaga.

3.1.6. Suelo

Los suelos de Bolsón Cuchara, formados por meteorización de diversos sustratos sedimentarios e intrusivos, se clasifican edafológicamente como aluviales. Son muy fértiles, profundos, y con pH variable (ácido a ligeramente alcalino), según un estudio del Ministerio del Interior (2002). Su alto contenido de materia orgánica (hasta 25%), intercambio catiónico de 11.5%, y distribución promedio de N-P-K (8-10-12) los hacen aptos para cultivos como arroz (bajo riego), plátano, frutales, pastos, cacao y especies nativas. En la zona Oeste, los suelos con pH de 6.0 e intercambio catiónico favorable son propicios para cultivos perennes.

En contraste, los suelos colinosos alejados de los ríos son menos fértiles, con bajo contenido de materia orgánica y mayor aptitud forestal y de protección, aunque permiten el cultivo de cacao si se asocian con otros cultivos (PEAH, 2017).

3.1.7. Vías de Acceso

Sus principales vías de acceso es la carretera asfaltada que parte desde Tingo María - Castillo Grande, hasta el río Magdalena (Red vial vecinal 533, Según el Mapa Vial del MTC). También, ingresando por el margen izquierdo de la carretera Fernando Belaunde Terry, a la altura del Km 26, hacia el río Huallaga, por una carretera de penetración. Luego de cruza el río en bote hacia Venenillo y de allí se continúa por una trocha carrozable hasta los diferentes caseríos del sector.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Materiales y equipos de campo

Los materiales de campo que se utilizaron fueron: bolsas plásticas (10 x 20), pala recta, machete, marcador, wincha, cuaderno de apuntes y plástico, 10 cilindros metálicos.

Los equipos de campo que se utilizaron son: cámara fotográfica, GPS (Sistema de Posicionamiento Global marca Garmin), termómetro del suelo y Penetró metro.

3.2.2. Materiales y equipos de laboratorio

Los materiales de laboratorio que se utilizó son: tubos de ensayo, probetas, placas Petri, pipetas, Tamiz de 2 y 0.25 mm, vaso de precipitación, Matraces Erlenmeyer de 250 mL, Porta objetos, Cubre objetos, Cintas masking tape, etiquetas para

rotulación, mascarillas, mandil, papel filtro, pipetas de 1 a 10 mL, micro pipetas, embudos, gradillas, mechero, varillas agitadoras, asa de colle, anza microbiológica, pinzas, tijeras, guantes desechables, papel kraft, algodón, pitas y desecador.

Los equipos de laboratorio que se utilizaron: PHmetro, Espectrofotómetro de absorción atómica, estufa eléctrica, balanza digital, incubadora, Autoclave, cámara fotográfica y microscopio.

3.2.2.1.Reactivos

Los reactivos que se emplearon fueron: azul de Aman, Alcohol, Reactivo del Indol (según Kovacs), Rojo de metilo, Alfa naftol, hidróxido de sodio (NaOH) al 4% y Azul lacto glicerol.

3.2.2.2.Medios de cultivos

Los medios de cultivo que se emplearon son: Agar M77, Agar manitol salado, Agar Plate Count (Agar peptona de caseína, glucosa, extracto de levadura), Agar sabouraud glucosado al 4% más antibiótico (ceftriaxona), Agar cleed, Agar macConkey, Caldo Brainheartbroth (BHI), Agar actinomiceto, Caldo peptona 0.1%, Caldo Rojo de Metilo, caldo Voges - Proskauer (RMVP), Agar TSI (hierro triple azúcar), Agar LIA (Descarboxilacion de la arginina y lisina), Agar citrato de Simmons, agar RMS, Agar GYC, Caldo Malonato, Caldo Indol, agar SIM (ácido sulfrídrico-Indol) y Agar Urea.

3.2.2.3.Parámetros en estudio

Los parámetros estudiados son físicos, químicos y microbiológicos para determinar la relación existente entre suelos productivos y su relación con los microorganismos, por otra parte, se estableció cuáles de los parámetros serían definidos *in situ* y *ex sito*, en función de los objetivos del estudio y las posibilidades técnicas en cada caso.

Los tipos de muestras a recoger fueron determinados según los objetivos del estudio, por ello fueron muestras compuestas ya que serán muestras tomadas en distintos puntos en un mismo tiempo.

Las muestras de suelo fueron recolectadas en dos puntos diferentes, es decir fueron recolectadas en cada uno de las parcelas representativas del sector Bolsón Cuchara en los caseríos de Los Cedros y Santa Martha. Los parámetros a evaluar en cada uno de esos puntos son los siguientes:

- Los parámetros físicos: Textura, Densidad aparente, Resistencia a la penetración y temperatura.
- Los parámetros químicos: Materia orgánica, Nitrógeno total, Fosforo disponible, potasio disponible y pH.

- Los parámetros microbiológicos: se identificará a los microorganismos predominantes tal es el caso de bacterias y hongos en los cultivos de cada parcela.

3.2.2.4.Reconocimiento del Área de Estudio

Se realizó visitas previas a los caseríos para ir evaluando así algunos puntos, como identificar las parcelas representativas en cada sector con previa autorización de los propietarios, observando su fisiografía y relieve de cada uno de ellos elaborando una línea base del cultivo de $\frac{1}{4}$ de hectárea evaluando los antecedentes del cultivo y de la parcela.

3.3.Generalidades de la investigación

3.3.1. Tipo de estudio

Es observacional en la determinación de los parámetros fisicoquímicas y microbiológicas de un suelo con cultivo de *Theobroma cacao* L. en el Sector Bolsón Cuchara.

3.3.2. Nivel de estudio

Es de tipo descriptivo correlacional, ya que se realizaron muestreos de suelos en dos parcelas demostrativas del Sector Bolsón Cuchara que tiene diferentes fisiografías y los resultados se analizaron a través de la estadística descriptiva en el programa SPSS, ya que se tomó muestra de un $\frac{1}{4}$ de hectárea de las dos parcelas representativas

3.4.Metodología

La investigación, dividida en cuatro etapas (evaluaciones preliminares, campo, laboratorio y procesamiento de resultados), buscó definir la relación entre microorganismos y las características fisicoquímicas del suelo. La metodología, denominada campo-laboratorio, consistió en: (1) la identificación y georreferenciación de puntos de muestreo representativos en el sector Bolsón Cuchara, utilizando GPS, fotografías satelitales y Carta Nacional; y (2) la toma de muestras para su posterior análisis en los laboratorios de suelos y microbiología de la UNAS.

3.4.1. Identificación de los puntos de muestreo

La identificación de los puntos de muestreo en cada una de las parcelas representativas se llevó a cabo de acuerdo a la importancia ecológica y las características propias del cultivo.

3.4.2. Muestreo de suelo para determinar sus características físicas y químicas

Los muestreos de los suelos en cada parcela representativa del sector Bolsón Cuchara se realizó mediante el muestreo sistemático en forma de *zig-zag*, a una profundidad de 20 cm para lo cual se utilizó una pala recta en cada punto determinado específicamente cinco puntos en cada parcela representativa, recolectando así la muestra hasta

completar aproximadamente de 2 kilogramos, cada muestra se depositó en bolsas plásticas transparentes rotuladas previamente para luego ser llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAS, para su respectivo análisis fisicoquímico. Así mismo algunos de sus parámetros fueron definidos *in situ*.

3.4.3. Métodos para determinar los parámetros físicos

- **Textura del suelo:** se ejecutó mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos.
- **Densidad aparente:** se ejecutó por volumen de peso húmedo y peso seco.
- **Resistencia a la penetración:** se realizó por método directo con el Penetrómetro (*insitu*).
- **Temperatura del suelo:** se realizó por método directo con el Termómetro (*insitu*).

3.4.4. Métodos para determinar los parámetros químicos

- **Materia orgánica:** se ejecutó por el método de Walkley y Black
- **Nitrógeno total:** se determinó por el método de Kjeldahl
- **Fosforo disponible:** se determinó por el método de Olsen
- **Potasio disponible:** se determinó por el método del ácido sulfúrico

3.4.5. Muestreo de suelos para determinar microorganismos

El muestreo de suelos en cada parcela representativa del sector Bolsón Cuchara se realizó fundamentalmente para determinar e identificar a los grupos predominantes de microorganismos en el cultivo la cual se llevó a cabo según la guía de actividades prácticas de microbiología agrícola que consiste en tomar una muestra simple en forma de *zig-zag* al costado de cada planta previamente seleccionada al azar.

En cada punto definido fue utilizado una pala recta a una profundidad de 0 – 10 cm, obteniendo de esta manera un puñado de suelo que fue reducido en un total de 10 muestras que harán un promedio total de 1 kilogramos, cada muestra de las parcelas representativas se depositó en bolsas de plástico transparente rotuladas previamente, para ser llevados al laboratorio de Microbiología de la UNAS, se puso a secar a temperatura ambiente bajo sombra para evitar modificaciones en su composición del suelo, ya una vez secado se tamizó la muestra y se procedió a realizar su respectivo análisis microbiológico.

3.4.6. Caracterización de los microorganismos presentes en el suelo

Para determinar los tipos de los microorganismos presentes en cada uno de las parcelas representativas del sector Bolsón Cuchara se realizó mediante el recuento y aislamiento donde se identificó y luego se clasificaron los microorganismos en grupos de bacterias y hongos.

3.5. Identificación de microorganismos

3.5.1. Preparación del caldo BHI

La preparación del caldo BHI para las muestras de suelo de las 2 parcelas representativas se preparó en 2 matraces, para lo cual se va necesitar 90 mL de agua destilada y se adicionará 3.3 g BHI granulado en cada uno de los matraces la cual se deberá mover hasta tener una consistencia líquida luego los matraces con el caldo BHI se incubará a 37 °C por un tiempo de 48 horas. Transcurrido el tiempo se pesó 10 g de suelo de cada muestra la cual se colocó en cada uno los matraces con BHI se filtró y con el anza, se sembrará en los medios de enriquecimiento, para llevarlas luego a incubación con una temperatura de 37°C por 24 a 48 horas para detectar la presencia de microorganismos.

3.5.2. Medios de cultivos para la siembra de los microorganismos

Se prepararon los siguientes medios de cultivo:

- Para el desarrollo bacteriano, se utilizaron 300 mL de agua destilada con: 33.3 g de agar Cleed, 50.03 g de agar MacConkey, 7.5 g de agar M77 y 15 g de agar Manitol Salado.
- Para el desarrollo fúngico, se emplearon 300 mL de agua destilada con 19.5 g de agar Sabouraud glucosado al 4% con ceftriaxona.

Todo los agares fue colado individualmente en diferentes matraces mezclándoles bien y se llevara a baño maría para que hiervan hasta la disolución total, luego se esterilizaran en la autoclave a 15 lb de presión por 15 minutos, se dejara enfriar para luego ser plaqueadas.

3.5.3. Siembra en las placas Petri con medios enriquecedores

De dos matraces con caldo BHI, se tomará una alícuota con asa bacteriológica para sembrar por estrías placas Petri con agar CLED, agar manitol salado y agar MacConkey. Las placas sembradas se incubarán a 37 °C durante 48 horas.

De estos dos matraces que contiene el caldo BHI se sacara una alícuota con el aza bacteriológico y sembrara en el Agar Sabouraud glucosado al 4% más antibiótico y en el agar M77 para ser luego incubadas a una temperatura ambiente por un espacio de 3 a 5 días para determinar el crecimiento ya sea de hongos y bacterias.

3.5.4. Identificación de bacterias

La identificación bacteriana se basó en pruebas bioquímicas: Indol, rojo de metilo, Voges-Proskauer, TSI, LIA, citrato de Simmons, caldo malonato, SIM y Urea. Tras la incubación de las placas Petri, se procedió a realizar estas pruebas. Metodología:

- **Indol:** Se inocularon tubos de ensayo con 9 mL de caldo peptona al 0.1% (método de enjuague). Tras 48 horas de incubación, se añadieron 2-3 gotas del reactivo de Kovacs.
- **Rojo de Metilo:** Se inocularon tubos de ensayo con 9 mL de caldo RMVP (método de enjuague). Tras 48 horas de incubación, se añadieron 2-3 gotas de rojo de metilo.
- **Voges - Proskauer:** Se inocularon tubos de ensayo con 9 mL de caldo RMVP (método de enjuague). Tras 48 horas de incubación, se añadieron 2-3 gotas de hidróxido de sodio (NaOH) al 4% y 2-3 gotas de alfa-naftol.
- **TSI:** Se vierte el agar a una temperatura de 45°C hasta la tercera parte de los tubos de ensayo, se dejó enfriar en forma de pico de flauta, luego se sembró con puntura y estrías, se incubaron a 37°C por 48 horas; el tipo de reacción positivo o negativo se reconocerá por el cambio de color.
- **LIA:** Se vierte el agar a los tubos de ensayo a una temperatura de 45°C y se dejó enfriar en forma de pico de flauta, para luego proceder a sembrarlas a través el método de puntura y estrías; la reacción se mostrará por el cambio de color.
- **Citrato de Simmons:** Se vierte 9 ml de agar en los tubos de ensayo y se deja enfriar para luego proceder a sembrar por el método de puntura, para luego ser incubadas por 48 horas, la reacción se demostrará por cambio de color, es decir si cambia a color azul indica reacción positiva.
- **SIM:** se vierte 9 ml de agar en los tubos de ensayo y se deja enfriar para luego proceder a sembrar por el método de puntura, para luego ser incubadas por 48 horas y como reactivo se adicionará el reactivo de kovac, la reacción se mostrará por el cambio de color (anillo rojo – indol positivo, anillo anaranjado – indol negativo).
- **Caldo Malonato:** Se vierte el caldo 9 ml en los tubos de ensayo y se sembró por el método de enjuague, para ser incubadas por 48 horas luego se observará si hubo o no reacción, si cambia a color azul es positivo.

- **Urea:** Se distribuirá 9 ml de agar en tubos de ensayo para la siembra de las colonias de bacterias para ello se empleó el método de puntura, luego de 48 horas se observa si hubo cambios de color, si cambia de color nos indicara reacción positiva.

3.5.5. Identificación de bacterias Tinción de Gram

Se tomó una muestra de la cepa, se diluyó y fijó al calor en un portaobjetos. Se tiñó con cristal violeta (1.5 min), se enjuagó, se cubrió con lugol (1.5 min), se decoloró con alcohol-acetona (5 seg con vaivén) y se enjuagó nuevamente. Finalmente, se contrastó con safranina (30 seg), se enjuagó, se secó y se observó al microscopio a 100X con aceite de inmersión para determinar la morfología y la tinción Gram (G+/G-).

3.5.6. Identificación de hongos (microcultivo)

Para el microcultivo, se emplearon placas Petri con un soporte de vidrio en forma de U, un portaobjetos y un cubreobjetos, todo esterilizado el día anterior. Con un asa microbiológica, se seleccionaron distintos tipos de colonias por placa. Se tomó un inóculo y se transfirió a un cubo de medio Sabouraud colocado sobre el portaobjetos dentro de la placa de microcultivo. Se colocó el cubreobjetos sobre el cubo de agar y se añadió algodón húmedo a la placa para mantener la humedad y promover el crecimiento del hongo. La placa de microcultivo se incubó a temperatura ambiente durante 8 días.

3.5.6.1. Medios de cultivos para el recuento de Microorganismos

Se prepararon los siguientes medios de cultivo en 400 mL de agua destilada cada uno: 3.7 g de Agar Actinomiceto, 9 g de Agar Plate Count, Agar Sabouraud al 4% con antibiótico, 5.5 g de Agar MRS y 7.2 g de Agar GYC.

Cada agar se colocó en un matraz individual, se mezcló bien y se calentó al baño maría hasta su completa disolución. Luego, se esterilizaron en autoclave a 15 lb de presión durante 15 minutos, se dejaron enfriar y finalmente se vertieron en placas.

3.5.6.2. Enumeración de bacterias y fungí (recuento)

Se pesaron 10 g de cada muestra de suelo, se adicionó caldo peptonado y se filtró. Luego, se extrajeron 10 ml para realizar diluciones seriadas (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}). De la dilución 10^{-3} , se sembró por profundidad un inóculo de 0.1 μL en los siguientes agares: Actinomiceto, Sabouraud glucosado al 4% con ceftriaxona, MRS, GYC y Plate count.

Las placas Petri con las muestras ya sembradas en los medios de cultivo se incubarán a 37°C (agar plate count, agar MRS, agar GYC) y a temperatura ambiente (agar actinomicetos y agar sabouraud glucosado) por un espacio de 3 a 5 días,

transcurrido el tiempo se realizará el conteo de colonias con el equipo para contar las colonias, aplicaremos la fórmula de enumeración de microorganismos por gramo.

$$\text{M.O / g de muestra} = C \times I \times F \quad (\text{ecuación 1})$$

Dónde:

M.O / g = microorganismos por gramo de suelo

C = Numero de colonias

I = Inoculo de siembra

F = Factor de dilución

3.5.7. Relacionar las propiedades físicas y químicas con los microorganismos del suelo

3.5.7.1. Coeficiente de correlación en R

Tras analizar los datos de campo y laboratorio, se ordenaron y procesaron con SPSS para generar tablas. Se determinó la relación entre las características fisicoquímicas y biológicas del suelo mediante la correlación de Pearson. Las variables de la investigación son:

- **Variables Independientes:** aquí se tomaron en cuenta la temperatura del suelo y la fisiografía de cada una de las dos parcelas representativas.
- **Variables Dependientes:** Aquí se tomaron en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la tierra.

3.5.7.2. Análisis de datos

Para definir la relación entre los parámetros del suelo y los microorganismos presentes, se realizará un estudio de correlación basado en modelos de regresión lineal simple.

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + \varepsilon_i \quad (\text{ecuación 2})$$

Donde:

$B_0 + b_1 X_i$ = es la media de la población Y, especificada para el valor X_i

ε_i = error asociado a la medición del valor X_i

B_0 = es el valor de Y cuando X toma el valor cero

B_1 = Es la pendiente de la recta, o coeficiente de regresión poblacional

Coeficiente de correlación o el coeficiente “ r ” de Pearson puede variar en el intervalo $[-1 + 1]$, indicando el signo al sentido de la relación así tendremos las siguientes opciones:

- Cuando $r = -1$, existe una relación lineal perfecta negativa
- Si r está próximo a -1 , existe una relación lineal negativa muy fuerte.
- Cuando r está próximo a 0 , significa que no hay una relación lineal.
- Si r está próximo a $+1$, existe una relación lineal positiva muy fuerte.
- Cuando $r = +1$, existe una relación lineal perfecta positiva.

La correlación negativa perfecta implica una relación inversamente proporcional entre X e Y: un aumento constante en X resulta en una disminución constante en Y, y viceversa.

- **1.00** = Correlación relativa perfecta
- **0.90** = Correlación negativa muy fuerte.
- **0.75** = Correlación negativa considerable.
- **0.50** = Correlación negativa media.
- **0.25** = Correlación negativa débil.
- 0.00** = No existe correlación alguna entre las variables.
- + **0.10** = Correlación positiva muy débil
- + **0.25** = Correlación positiva débil.
- + **0.50** = Correlación positiva media.
- + **0.75** = Correlación positiva considerable.
- + **0.90** = Correlación positiva muy fuerte.
- + **1.00** = Correlación positiva perfecta

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Determinar las características físicas y químicas de un suelo con el cultivo de cacao y su relación con los microorganismos en el sector de Bolsón Cuchara.

4.1.1. Características físicas del suelo

Según Owen & Eric (1995), las características del suelo están determinadas por la roca madre, su edad, el relieve, el clima, la vegetación, la fauna y la actividad humana. Las características fisicoquímicas del suelo, junto con el clima, condicionan la flora, la fauna y las prácticas agrícolas. El tamaño de las partículas del suelo influye en su textura, drenaje, capacidad de retención de agua, plasticidad, penetración de raíces, aireación y retención de nutrientes, factores clave para su calidad física.

- Textura del suelo

Los valores encontrados para la textura del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros (tabla 20) estudiados en la presente investigación, en el sector Santa Martha presenta la proporción de arena, limo y arcilla con una media de 32.96, 38.22 y 28.22% respectivamente, indicando una textura franco arcilloso. Al respecto USDA (2006) reportan que determinar la textura de la tierra es referirse a la cantidad (en porcentaje de peso) de las particular menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) existentes en los horizontes de la tierra, en donde radica su importancia edafológica.

Tabla 20. Textura de suelos en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Físicos	Arena	%	32.96	32.50	33.84	1.89
		Limo	%	38.22	37.12	38.77	2.03
		Arcilla	%	28.82	28.69	29.04	0.54
Los Cedros	Físicos	Arena	%	37.82	36.68	38.96	2.48
		Limo	%	33.01	32.22	33.80	2.02
		Arcilla	%	29.17	28.82	29.52	1.00

Las clases texturales, determinadas en laboratorio mediante las proporciones de arena, limo y arcilla (Zavaleta, 1992), presentan combinaciones casi infinitas, aunque se han definido doce clases básicas. Un suelo se considera arenoso si contiene $\geq 70\%$ de arena (Carrasco & Ortiz, 2011). Los suelos arenos francos contienen entre 15% y 30% de limo y arcilla, mientras que los arcillosos presentan $>40\%$ de arcilla, con posible contenido de hasta 45% de arena o 40% de limo, clasificándose como arcillo arenosos o arcillo-limosos (Carrasco & Ortiz, 2011). Conocer la textura del suelo es crucial para comprender sus propiedades y proponer prácticas de manejo

adecuadas (Henríquez & Cabalceta, 1999). En este estudio, se identificaron suelos francos y francos limosos, los cuales, junto con clasificaciones similares como francos arcillosos o arenosos, son ideales para el cultivo debido a sus características óptimas para el crecimiento vegetal (Campos & Cornelio, 2006), lo cual beneficia los cultivos evaluados.

- Densidad aparente del suelo

Los valores encontrados de la DA de las parcelas de *Theobroma cacao L* (tabla 21), presenta un mínimo de 1.35 (g/cm³) Los Cedros y un máximo de 1.49 (g/cm³) en la parcela Santa Martha. Folegatti et al. (2001) argumentan que la densidad aparente es un parámetro de la tierra considerablemente en la actividad agrícola, vinculada básicamente con las prácticas de empleo de tierras.

Tabla 21. Densidad aparente en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L*.

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Físicos	DA	g/cm ³	1.46	1.45	1.49	0.86
Los Cedros	Físicos	DA	g/cm ³	1.43	1.35	1.48	4.95

Acevedo y Martínez (2003) señalan que la DA, parámetro físico del suelo, está relacionado con la porosidad, compactación, aireación y distribución de poros. Es un indicador de compactación y restricciones al crecimiento radicular, con valores típicos entre 1,0 y 1,7 g/cm³, que suelen incrementar con la profundidad.

En nuestro caso la Dap esta es un rango aceptable que influye en el crecimiento de las raíces.

- Resistencia a la penetración del suelo

Los valores encontrados para la variable resistencia a la penetración del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros (tabla 22), muestra que el mayor valor se encuentra en el Sector Santa Martha con 2.55 (k/cm²) y el menor valor está en el sector Los Cedros con 1.50 (k/cm²), obteniendo un coeficiente de variación de 1.89%.

Tabla 22. Resistencia del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L*.

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Físicos	RP	kg/cm ²	2.53	2.50	2.55	1.14
Los Cedros	Físicos	RP	kg/cm ²	1.53	1.50	1.55	1.89

Herrick y Jones (2002) señalan que la resistencia a la penetración del suelo, un indicador de compactación, restringe el crecimiento radicular y la disponibilidad de aire y agua para las raíces. Esta resistencia, junto con la MO, el pH y los nutrientes, influye en la actividad biológica del suelo.

En nuestro caso en el suelos de PR – SM son suelos duros, y en los C son suelos suaves esto se debe a la diferencias de altura y fisiografía.

- **Temperatura del suelo**

La temperatura del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros, presenta un mínimo y máximo de 28 °C, en las parcelas de ambos sectores.

Tabla 23. Temperatura del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Físicos	T	°C	28.00	28.00	28.00	0.00
Los Cedros	Físicos	T	°C	28.00	28.00	28.00	0.00

Según el Ministerio de Agricultura (2009), la temperatura es fundamental para el desarrollo, floración y fructificación de los cultivos. La temperatura del suelo, a su vez, depende de la radiación neta y la cobertura vegetal, siendo menor a mayor cobertura.

4.2. Determinar las propiedades químicas de suelos con cultivo de *Theobroma cacao L.*

L.

4.2.1. El pH

Los resultados en la tabla 23, muestran los valores para la variable pH de suelos de los parcelas evaluadas en los sectores Santa Martha y Los Cedros, indicando que el mayor valor con 5.48 % está en el sector Santa Martha y el valor mínimo con 3.91% está en el sector Los Cedros. Presentando rangos de fuertemente ácido (**Tabla 24**).

Tabla 24. pH del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Químicos	pH	pH	5.00	4.51	5.48	8.23
Los Cedros	Químicos	pH	pH	4.44	3.91	4.97	9.95

El pH del suelo en Santa Martha (5.48) fue más alto y fuertemente ácido, en comparación con Los Cedros. Este pH, que indica la actividad de iones hidrógeno y afecta la

disponibilidad de nutrientes (FAO et al., 2009), es fuertemente ácido ($\text{pH} < 5.5$) y limita la actividad microbiana, cuyo desarrollo óptimo ocurre a $\text{pH} > 5.5$.

4.2.2. Materia orgánica

El porcentaje de MO en los suelos de los sectores Santa Martha y Los Cedros, muestra el mayor nivel con 4.26 % en el Sector Santa Martha y el menor nivel 2.69% en el sector Los Cedros. (Tabla 25). Por lo tanto se considera de nivel, la proporción de MO en el suelo de los dos sectores muestreados.

Tabla 25. Materia orgánica del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Químicos	MO	%	3.55	2.84	4.26	17.84
Los Cedros	Químicos	MO	%	3.02	2.69	3.35	9.60

Jeny (1941) menciona que el contenido de MO y nitrógeno está determinado principalmente por el clima y la vegetación, aunque factores locales como el relieve, el material parental, el uso del suelo y sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas también influyen. Por lo tanto, la evaluación de los niveles de materia orgánica (bajo, medio, alto y muy alto) debe realizarse en función de las necesidades del cultivo de *Theobroma cacao L.* En este caso, el nivel medio de MO contribuye a la fertilidad del suelo al estabilizar su estructura y permeabilidad.

4.2.3. Nitrógeno

Se observa en la tabla 24 los valores para la variable nitrógeno, donde se reporta menor contenido con 0.13% en el sector Los Cedros y mayor contenido con 0.21% en el sector Santa Martha, considerándose de nivel medio (Tabla 26).

Tabla 26. Nitrógeno del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Químicos	N	%	0.18	0.14	0.21	16.79
Los Cedros	Químicos	N	%	0.15	0.13	0.17	9.44

El nitrógeno es un nutriente esencial para las plantas, ampliamente distribuido en la naturaleza y asimilado en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). Aunque abundante, su forma inorgánica impide la asimilación directa. El sistema atmósfera-suelo-planta recibe N por

deposición atmosférica, agua de riego, fijación microbiana, mineralización de MO y fertilización. Las pérdidas gaseosas (N₂O, NO, NO₂, NH₃, N₂) son mínimas y difíciles de detectar. La materia orgánica y la fijación bacteriana enriquecen el suelo con nitrógeno, que es incorporado a los tejidos de plantas, animales y microorganismos. Nuestros niveles medios de N favorecen la fijación microbiana mediante la descomposición de la materia orgánica.

4.2.4. Fósforo

Se observan los resultados presentados en la tabla 27, los valores para la variable fósforo en los sectores Santa Martha y Los Cedros de las parcelas muestreadas se encontraron en un nivel muy bajo (Tabla 27)

Tabla 27. Fósforo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Químicos	P	ppm	7.14	4.52	9.77	31.02
Los Cedros	Químicos	P	ppm	4.20	2.31	6.08	40.11

El contenido de fósforo fue muy bajo en la parcela Los Cedros (2.31%) y máximo en Santa Martha (9.77%). Esto confirma lo señalado por Los Ángeles (2007), citado por Palomino (2015), quienes indican que los suelos ácidos (pH<5) suelen tener bajo fósforo disponible y necesitan alta fertilización fosfórica. Huamani y Mansilla (1995) también reportaron baja disponibilidad de fósforo en suelos ácidos, que, combinada con altas precipitaciones, favorece la precipitación de fósforo como fosfatos insolubles de Fe y Al por su alta reactividad.

4.2.5. Potasio

El contenido de potasio del suelo en los sectores Santa Martha y Los Cedros se encuentran en nivel bajo (Tabla 28), el valor mínimo con 0.12 % en el sector Los Cedros y el valor máximo con 0.42 % en el sector Santa Martha.

Tabla 28. Potasio en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao L.*

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Químicos	K	Cmol(+)/Kg	0.32	0.22	0.42	27.24
Los Cedros	Químicos	K	Cmol(+)/Kg	0.16	0.12	0.20	27.44

El potasio (K), según Pérez (2008) y la FAO (2015), es esencial para la fotosíntesis, el crecimiento, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos. Actúa disminuyendo el potencial osmótico del agua celular, lo que reduce la pérdida de agua y facilita

su absorción por las raíces. Además de ser un elemento esencial para la producción agrícola, el potasio activa más de 60 sistemas enzimáticos y optimiza la regulación hídrica en los tejidos vegetales, contribuyendo al desarrollo de carbohidratos y, en general, favoreciendo el desarrollo de la planta.

En nuestro caso en nivel de K es muy bajo lo cual afecta el crecimiento de cultivos y es esencial y óptimo en la producción agrícola, ya que cumple un rol crítico al reducir el potencial osmótico del agua, disminuyendo así la pérdida de agua por las hojas y aumentan la capacidad de absorber agua por las raíces.

4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

Se observan los resultados presentados en la tabla 29, sobre la variable CIC, encontrando el valor máximo 10.32 Cmol(+)/kg-1 en el sector Santa Martha y el valor mínimo con 6.85 Cmol(+)/kg-1 en el sector Los Cedros, indicando el coeficiente de variación de 4,07% llegando hasta el valor en porcentaje de 4,75%.

Tabla 29. CIC del suelo en las parcelas de Santa Martha y Los Cedros con *Theobroma cacao* L.

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados			
				Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Químicos	CICe	Cmol(+)/Kg	9.82	9.33	10.32	4.75
Los Cedros	Químicos	CICe	Cmol(+)/Kg	7.21	6.85	7.56	4.07

La CIC es un parámetro clave del suelo, ya que refleja su habilidad para retener cationes debido a las cargas negativas del complejo coloidal (FAO, 2015). La CIC aumenta con la textura fina del suelo y disminuye en suelos de textura gruesa, como arenas y margas arenosas, que son pobres en arcilla y materia orgánica. Cationes como Ca, Mg, K y amonio (NH₄⁺) son esenciales para el crecimiento vegetal, mientras que sodio (Na) e hidrógeno (H) influyen en la disponibilidad de nutrientes y la retención de humedad. En suelos ácidos predominan el hidrógeno y el aluminio. Una baja CIC indica una reducida capacidad de retención de nutrientes, común en suelos arenosos o con poca MO.

4.3. Caracterizar los microorganismos presentes en el suelo en el cultivo de cacao en el Sector Bolsón Cuchara.

4.3.1. Determinación de microorganismos

Del primer muestreo se hizo dos repeticiones en los parámetros microbiológicos con la finalidad de demostrar e identificar los siguientes parámetros: numeración de microorganismos aerobios viables (NMAV), numeración de bacterias fijadoras de nitrógeno (NBFN), numeración de mohos y levaduras (NML), numeración de Actinomicetos y

Numeración de Lactobacillus. Estos parámetros se determinaron según la fórmula de enumeración de microorganismos por gramo de suelo.

$$\text{M.O / g de muestra} = C \times I \times F$$

Tabla 30. Resultados del recuento de microorganismos

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados				
				Total	Media	Minimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Microorganismos	NMAV	UFC/ g suelo	322.00 x 10 ⁻³	80.50 x 10 ⁻³	78.00 x 10 ⁻³	83.00 x 10 ⁻³	2.59
		NML		21.00 x 10 ⁻³	5.25 x 10 ⁻³	5.00 x 10 ⁻³	6.00 x 10 ⁻³	9.52
		NBFN		35.00 x 10 ⁻³	8.75 x 10 ⁻³	8.00 x 10 ⁻³	10.00 x 10 ⁻³	10.94
		Actinomicetos		639.00 x 10 ⁻³	159.75 x 10 ⁻³	155.00 x 10 ⁻³	168.00 x 10 ⁻³	3.70
		Lactobacillus		97.00 x 10 ⁻³	24.25 x 10 ⁻³	22.00 x 10 ⁻³	26.00 x 10 ⁻³	7.04
Los Cedros	Microorganismos	NMAV	UFC/ g suelo	59.00 x 10 ⁻³	14.75 x 10 ⁻³	13.00 x 10 ⁻³	17.00 x 10 ⁻³	11.58
		NML		15.00 x 10 ⁻³	3.75 x 10 ⁻³	3.00 x 10 ⁻³	4.00 x 10 ⁻³	13.33
		NBFN		30.00 x 10 ⁻³	7.50 x 10 ⁻³	6.00 x 10 ⁻³	9.00 x 10 ⁻³	17.21
		Actinomicetos		313.00 x 10 ⁻³	78.25 x 10 ⁻³	75.00 x 10 ⁻³	80.00 x 10 ⁻³	3.02
		Lactobacillus		105.00 x 10 ⁻³	26.25 x 10 ⁻³	24.00 x 10 ⁻³	28.00 x 10 ⁻³	6.51

Nota. UFC/g suelo = unidades formadoras de colonias por gramo de suelo

Estos microorganismos están capacitados para extensas reacciones metabólicas y adaptarse a diferentes ambientes, fungí tipo levadura, bacterias, virus, algas, protozoos, actinomicetos, todo esto compite entre ellos por nutrientes y al mismo tiempo alteran la composición química del suelo. Como pudimos observar la tabla 30, el recuento de microorganismo está con mayor presencia en el suelo de PR- SM ayudando así a la fertilidad del suelo y al desarrollo de la planta.

En cuanto a los Lactobacillus y Actinomicetos son bacterias Gram +, y son benéficos que mejoran la estructura del suelo y están directamente relacionada con la producción de MO.

García C. (2003). Según indica Ruiz F. (2008) estos microorganismos tienen un rol importante e indispensable en la conservación de la fertilidad del suelo ya que depende de factores propios del suelo, como la humedad, aireación, temperatura, pH, así también el abonamiento con las prácticas agrícolas.

4.3.2. Resultados de la identificación de hongos y bacterias de las muestras de suelo

Se identificó mayor número de microorganismos en la subparcela del sector Los Cedros, encontrándose los hongos Aspergillus

Tabla 31. Identificación de hongos presentes en el suelo de cacao de la parcela Santa Martha y Los Cedros

Fungí (Hongos)

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados				
				Total	Media	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Fungí (Hongos)	Rhizopus sp	Und.	11.00	2.00	2.00	2.00	0.00
		Aspergillus		12.00	2.50	2.00	3.00	23.09
		Penicillium sp		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49
		Fusarium sp		5.00	1.25	1.00	2.00	40.00
Los Cedros	Fungí (Hongos)	Rhizopus sp	Und.	8.00	2.75	1.00	4.00	45.76
		Aspergillus		10.00	3.00	2.00	4.00	27.22
		Penicillium sp		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49
		Fusarium sp		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49

Como observamos en la tabla 31:

Rhizopus sp: en la PR – Santa Martha en total hay 11 C/g muestra y en la PR – Cedro hay 8 C/g muestra.

Aspergillus: en la PR – Santa Martha en total hay 12 C/g muestra y en la PR – Cedro hay 10 C/g muestra.

Penicillium sp: en las PR de Santa Martha - Cedro en cada uno de ellos hay un total de 6 C/g muestra.

El *Rhizopus sp* es un hongo fijador de N atmosférico, el *Aspergillus* y el *Penicillium sp* son de grupos de hongos más abundantes en la naturaleza y cumple un rol fundamental en la descomposición de MO.

Fusarium sp: en la PR – Santa Martha hay 5 C/g muestra y en la PR – Cedro hay 6 C/g muestra, es un hongo con mayor presencia en suelos húmedos y su principal forma de dispersión es por movimientos de agua de escorrentía hospedándose en residuos de cultivos causando marchitamiento e incluso muerte de la planta.

Los hongos son cruciales para la salud de la tierra y los cultivos, así como para la conservación ambiental, principalmente por su rol en la desgaste de la MO, mejorando la calidad nutricional del suelo (Ramírez, 2013).

Lozano (2014) coincide en que los hongos, junto con las bacterias, prestan servicios esenciales como la regulación hídrica, la asimilación de nutrientes y la supresión de enfermedades, además de su importante función como descomponedores en la red alimentaria del suelo.

Tabla 32. Identificación de bacterias presentes en el suelo de cacao de la parcela Santa Martha y Los Cedros

Se identificó mayor cantidad de especies de microorganismos en la parcela Santa Martha, encontrándose la bacteria Actinomicetos sp.

Bacterias

Sector	Parámetros	Indicadores	Unidad	Resultados				
				Total	Media	Minimo	Máximo	C.V. (%)
Santa Martha	Bacterias	Actinomicetos sp	Und.	12.00	3.00	3.00	3.00	0.00
		Lactobacillus sp		10.00	2.50	2.00	3.00	23.09
		Bacilos		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49
		Bacillus sp		4.00	1.00	1.00	1.00	0.00
		Enterobacter agglomerans		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49
Los Cedros	Bacterias	Actinomicetos sp	Und.	9.00	2.25	2.00	3.00	22.22
		Lactobacillus sp		11.00	2.75	2.00	4.00	34.82
		Bacilos		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49
		Bacillus sp		6.00	1.50	1.00	2.00	38.49
		Enterobacter aerogenes		7.00	1.75	1.00	3.00	54.71
		Klebsiella		4.00	1.00	1.00	1.00	0.00

Como observamos en la tabla 32:

Actinomicetos sp: en la PR – Santa Martha en total hay 12 C/g muestra y en la PR - Cedro hay 9 C/g muestra,

Lactobacillus sp: en la PR – Santa Martha en total hay 10 C/g muestra y en la PR – Cedro hay 11 C/g muestra

Bacilos: en las PR de SM – Santa Martha en cada uno de ellos hay un total hay 6 C/g muestra (Gram -)

Bacillus sp: en la PR – Santa Martha en total hay 4 C/g muestra y en la PR – C hay 6 C/g muestra (Gram +)

Estas bacterias son muy comunes y de vida libre que se encuentran en diferentes ambientes y profundidades, promueven el crecimiento vegetal y descomponen la MO.

Enterobacter agglomerans: esta bacteria solo está presente en la PR – Santa Martha con un total de 6 C/g muestra.

Enterobacter aerogenes: esta bacteria solo está presente en la PR - Cedro con un total de 7 C/g muestra.

Klebsiella: esta bacteria está presente solo en la PR – Cedro con un total de 4 C/g muestra.

Estas bacterias son Gram –, de vida libre en su mayoría inofensivas siendo normal su presencia en todo tipo de suelos.

Panduro (2013), Indica que las bacterias son microorganismos más abundantes y pequeños que miden de 0.1 a 1 micras, pueden ser aerobios, anaerobios que toleran pH ácidos y son capaces de neutralizar la tierra en la que se desarrollan para cumplir su función.

También Guerrero (1998), nos dice que las bacterias ayudan a descomponer residuos orgánicos para así mejorar la estructura del suelo y aumenta la disponibilidad de nutrientes para los cultivos si no existieran las bacterias descomponedores los desechos y restos orgánicos se amontonarían obstaculizando el buen funcionamiento.

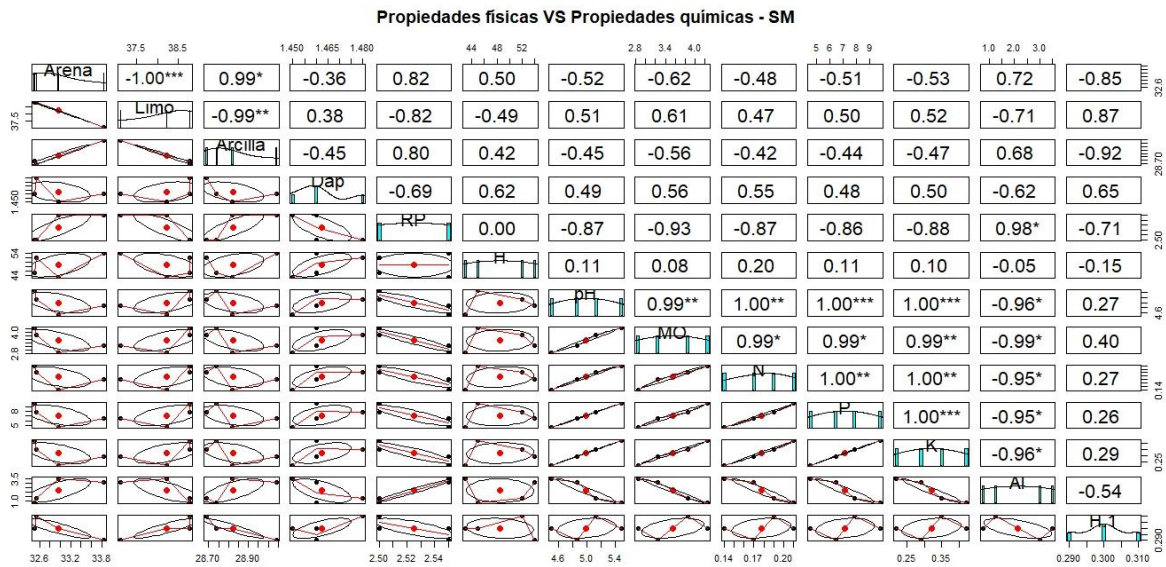
4.4.Determinar la relación existente entre las propiedades físicas y químicas con los microorganismos presentes en el suelo con cultivos de cacao.

4.4.1. Sector Santa Martha (SM)

- Propiedades físicas VS Propiedades químicas – SM

En la **Figura 8**, se observa correlación negativa perfecta entre arena y limo, correlación positiva y negativa muy fuerte entre arena con arcilla y limo con arcilla respectivamente; correlación positiva muy fuerte entre RP con Al. Así mismo, se aprecia una correlación positiva perfecta de pH con N, P y K; correlación negativa muy fuerte pH y MO con Al; correlación positiva muy fuerte entre pH con MO, al mismo tiempo la MO con N, P y K; hay correlación positiva perfecta entre N, P y K; correlación negativa muy fuerte N con Al, P con Al, K con Al. Dichas correlaciones tienen un valor significativo que está entre 0.01 (***) y 0.05 (* **).

Por otra parte rescatar que existe correlación positiva considerable entre arena con RP, limo con H, arcilla con RP y RP con Al; correlación negativa considerable entre arena con H, limo con RP; arcilla con H; RP con pH, MO, N, P, K; pH con Al; MO, N, P, K con Al. Y Entre las demás variables hay correlación que varía de ± 10 a ± 50 , según criterio establecido por Hernández et al. (2014).



Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad, pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiante, Al=Aluminio cambiante, y H.1=Hidrogeno cambiante.

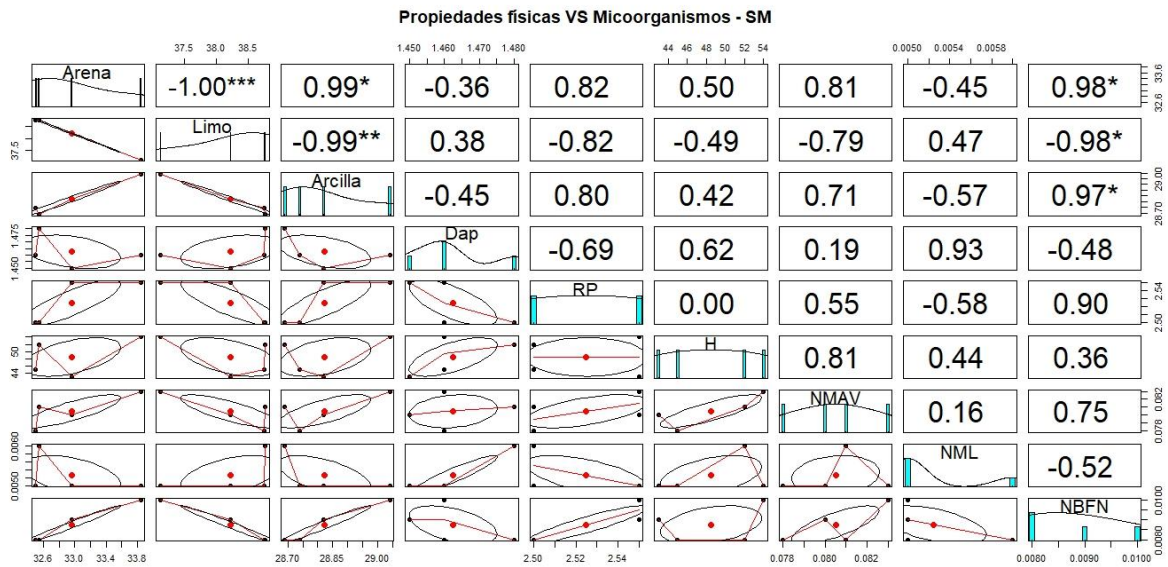
Figura 8. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a propiedades químicas de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

*Correlación positiva perfecta entre pH con NPK (+1 ***),* Esto indica que si se mejora el pH del suelo mayor va ser la absorción de nutrientes ya que el pH ácido afecta la absorción del NPK. (recomendable pH 5.5 a 6.5).

*Correlación positiva perfecta entre MO y NPK (+1 ***),* Esto nos indica que están estrechamente ligados ya que la MO es fuente principal del NPK porque son nutrientes esenciales para el crecimiento de cultivos.

- Propiedades físicas VS Micoorganismos – SM

En la **Figura 9** se distingue una correlación positiva muy fuerte entre arena con NBFN, arcilla con NBFN; correlación negativa muy fuerte entre limo con NBFN, con un coeficiente significativo (P-valor menores a 0.05* ** y 0.01***). También se observa una correlación positiva considerable entre arena con NMAV, Dap con NML, RP con NBFN, H con NMAV, NMAV con NBFN; y correlación negativa considerable entre limo con NMAV.

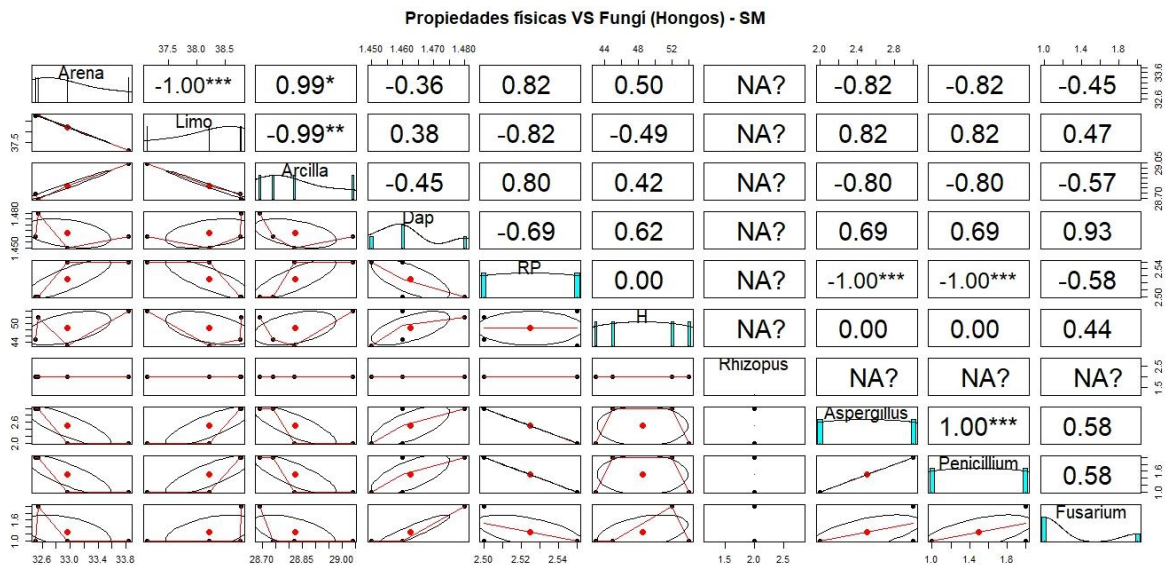


Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad, NMAV= Microorganismos aerobios viables, NML= Numeración de mohos y levaduras, NBFN= Numeración de bacterias fijadoras de nitrógeno.

Figura 9. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

- Propiedades físicas VS Fungí (Hongos) – SM

En la **Figura 10** se observa la correlación significativa ((P-valor menores a 0.01***)) existente entre las propiedades físicas frente a los Hongos de un suelo; existe correlación negativa perfecta entre RP con *Aspergillus* y *Penicillium sp*, al mismo tiempo correlación positiva perfecta de *Aspergillus* frente a *Penicillium sp*. Existe también correlación positiva muy fuerte entre Dap con *Fusarium sp*; correlación negativa considerable de arena y arcilla frente a *Aspergillus* y *Penicillium sp*; correlación positiva considerable de limo frente a *Aspergillus* y *Penicillium sp*.



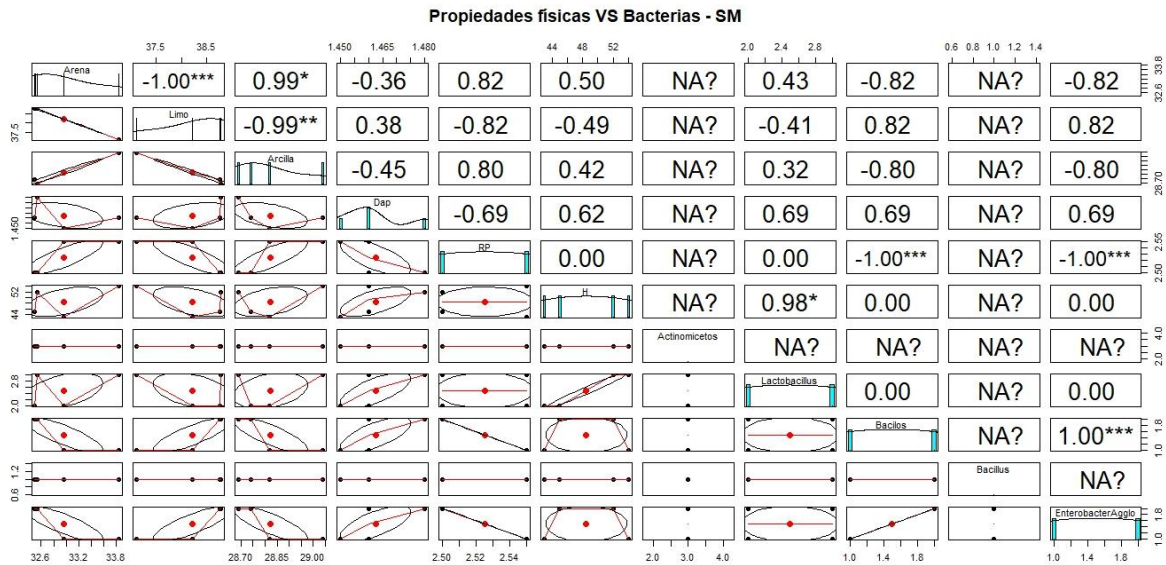
Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad. NA=No aplicable

Figura 10. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

Correlación positiva perfecta entre *Aspergillus* con *Penicillium sp* (+1 ***), está directamente relacionado con la producción de materia orgánica, puesto que son grupo de hongos más abundantes presentes en el suelo.

- Propiedades físicas VS Bacterias – SM

En la **Figura 11** se observa la correlación significativa ((P-valor menores a 0.01***) existente de las variables físicas frente a las bacterias de un suelo, con relación negativa perfecta de RP con *Bacilos* y *Enterobacter agglomeruns*, así mismo de *Bacilos* con *Enterobacter agglomeruns*. En la tabla se visualiza la correlación negativa considerable entre arena y arcilla con *Bacilos* y *Enterobacter agglomeruns*; correlación positiva considerable entre limo con *Bacilos* y *Enterobacter agglomeruns*.



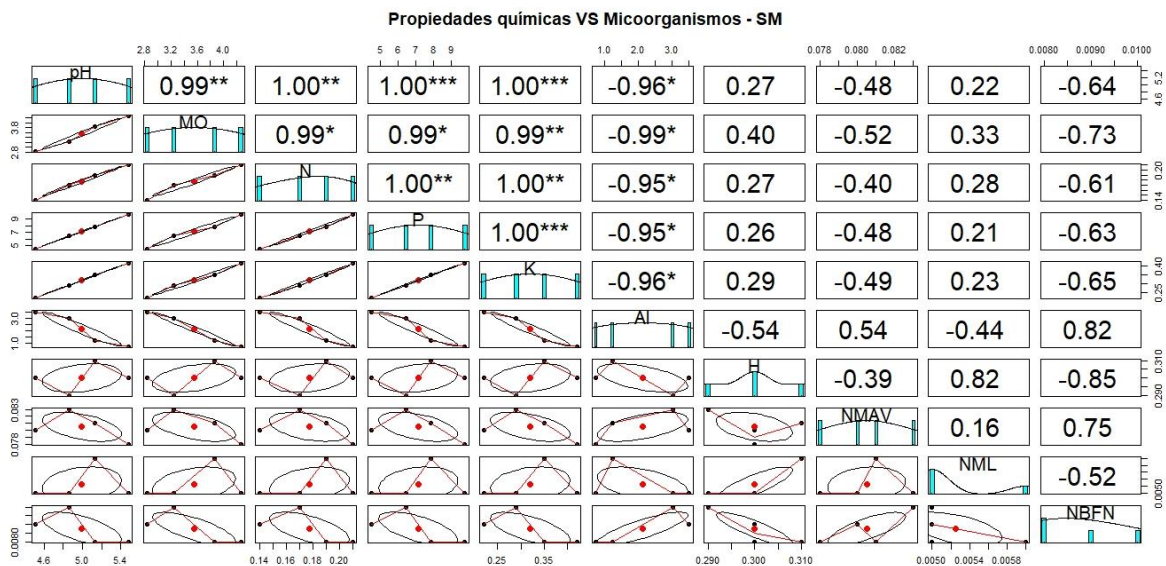
Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad. NA=No aplicable

Figura 11. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

- Propiedades químicas VS Micoorganismos – SM

En la **Figura 12**, no se puede apreciar una correlación significativa de propiedades químicas frente a los microorganismos de un suelo ya que las correlaciones varían de débil a considerable (positivo y negativamente). Hay correlación negativa débil entre pH, N, P, K y H con NMAV, Al con NML; correlación negativa media a considerable entre pH con NBFN, MO con NMAV y NBFN, N, P, K, H y NML con NBFN. Así también hay correlación

positiva débil entre MO, N con NML; correlación positiva media a considerable entre Al con NBFN y NBFN, NBFN con NBFN.

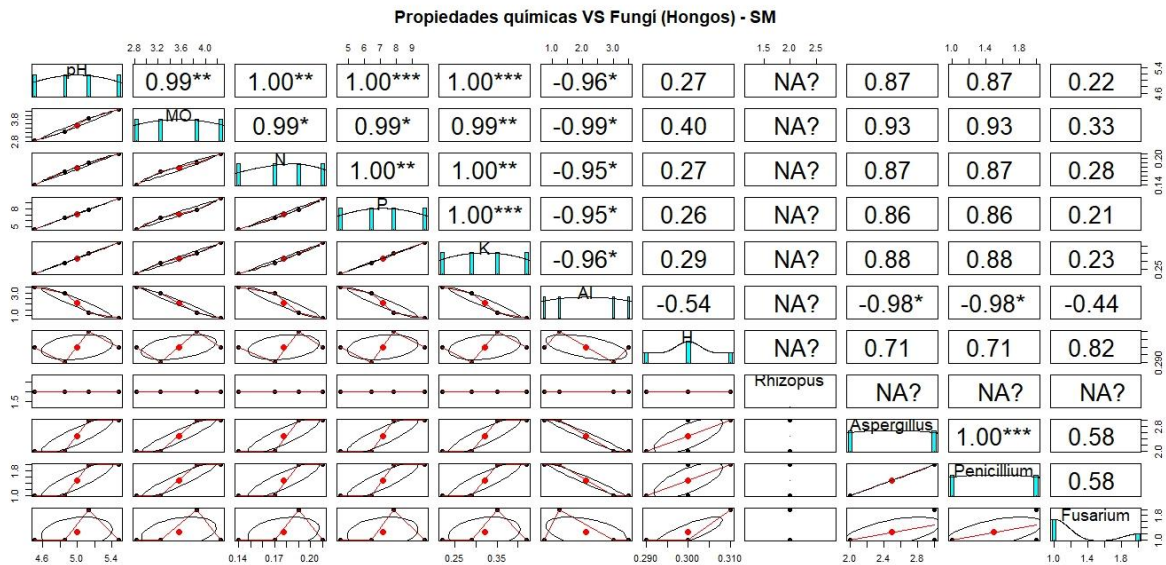


pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiante, Al=Aluminio cambiante, H=Hidrogeno cambiante, NMAV= Microorganismos aerobios viables, NML= Numeración de mohos y levaduras, NBFN= Numeración de bacterias fijadoras de nitrógeno.

Figura 12. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

- Propiedades químicas VS Fungí (Hongos) – SM

En la **Figura 13** se puede apreciar que existe correlación negativa muy fuerte (Significativa) entre Al con *Aspergillus* y *Penicillium sp*, al mismo tiempo correlación positiva perfecta (Significativa) entre **Aspergillus** con *Penicillium sp*. Correlación positiva muy fuerte entre MO con *Aspergillus* con *Penicillium sp*; correlación positiva considerable entre pH, N, P, K con *Aspergillus* con *Penicillium sp*, H con *Fusarium sp*; correlación negativa muy fuerte entre Al con *Aspergillus* y *Penicillium sp*. En las demás variables las correlaciones varían de débil a media.



pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiante, Al=Aluminio cambiante, H=Hidrogeno cambiante, NA=No aplicable.

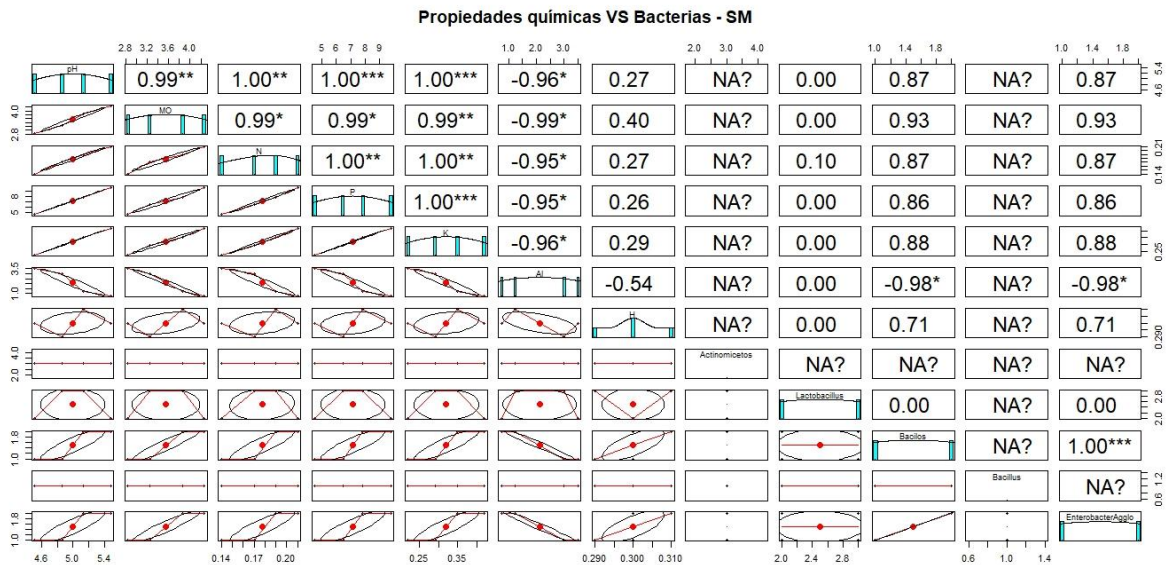
Figura 13. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

Correlación positiva perfecta entre *Aspergillus* con *Penicillium sp* (+1 ***).

La correlación entre *Aspergillus* y *Penicillium sp* tanto en sus propiedades químicas están directamente relacionadas en la producción de MO, lo cual ayuda a mejorar la estructura del suelo.

- Propiedades químicas VS Bacterias – SM

En la **Figura 14**, se puede contemplar que existe una correlación positiva perfecta (Significativo) entre *Bacilos* con *Enterobacter agglomerans*, también correlación positiva muy fuerte (Significativo) entre Al con *Bacilos* y *Enterobacter agglomerans*; correlación positiva muy fuerte entre MO con *Bacilos* y *Enterobacter agglomerans*; correlación positiva considerable entre pH, N, P y K con *Bacilos* y *Enterobacter agglomerans*; y correlación negativa muy fuerte entre Al con *Bacilos* y *Enterobacter agglomerans*.



pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiante, Al=Aluminio cambiante, H=Hidrogeno cambiante, NA=No aplicable.

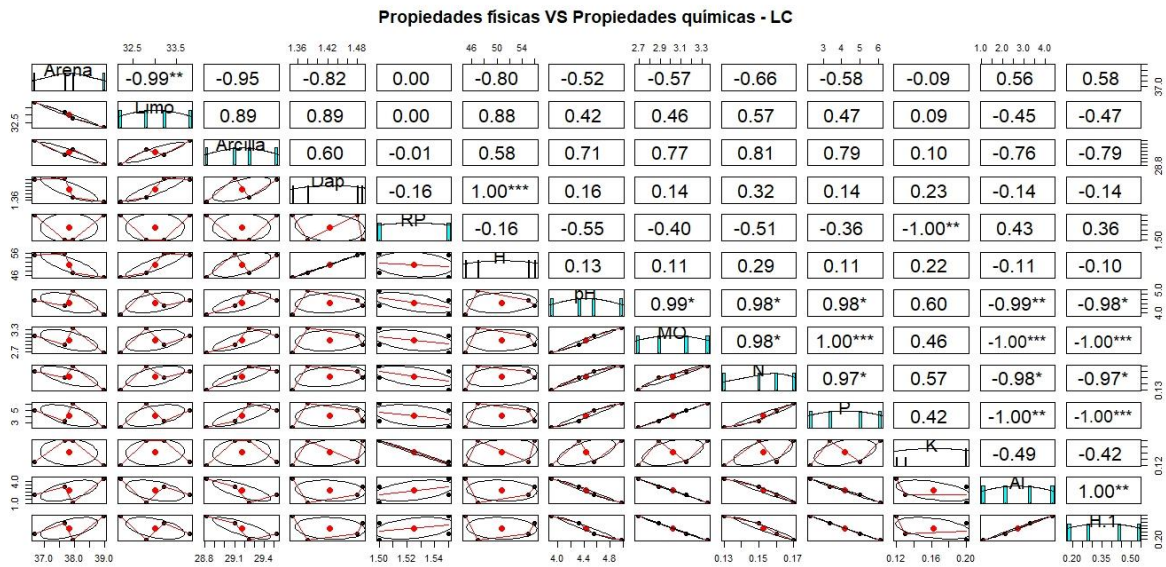
Figura 14. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Santa Martha.

Correlación positiva perfecta entre Bacilos con *Enterobacter Agglomerans* (+1 ***), estos son bacterias Gram – inofensivas que están presentes en todo tipos de suelos promueven el crecimiento vegetal.

4.4.2. Sector Los Cedros (LC)

- Propiedades físicas VS Propiedades químicas – LC

En la **Figura 15** distinguimos que existe, correlación positiva perfecta (Significativa) entre Dap con H, MO con P, Al con H.1; correlación positiva muy fuerte (Significativa) entre pH con MO, N, P, MO con N, N con P; correlación positiva considerable entre limo con arcilla, Dap, H, arcilla con MO, N y P, pH con MO, N y P: MO con N y N con P. Asimismo, observamos correlación negativa perfecta (Significativa) entre RP con K, MO con Al y H.1, P con Al y H.1; correlación negativa muy fuerte (Significativo) entre, arena con limo, arcilla; pH con Al y H.1, N con Al y H.1; y correlación negativa considerable entre arena con Dap, arcilla con H.1.



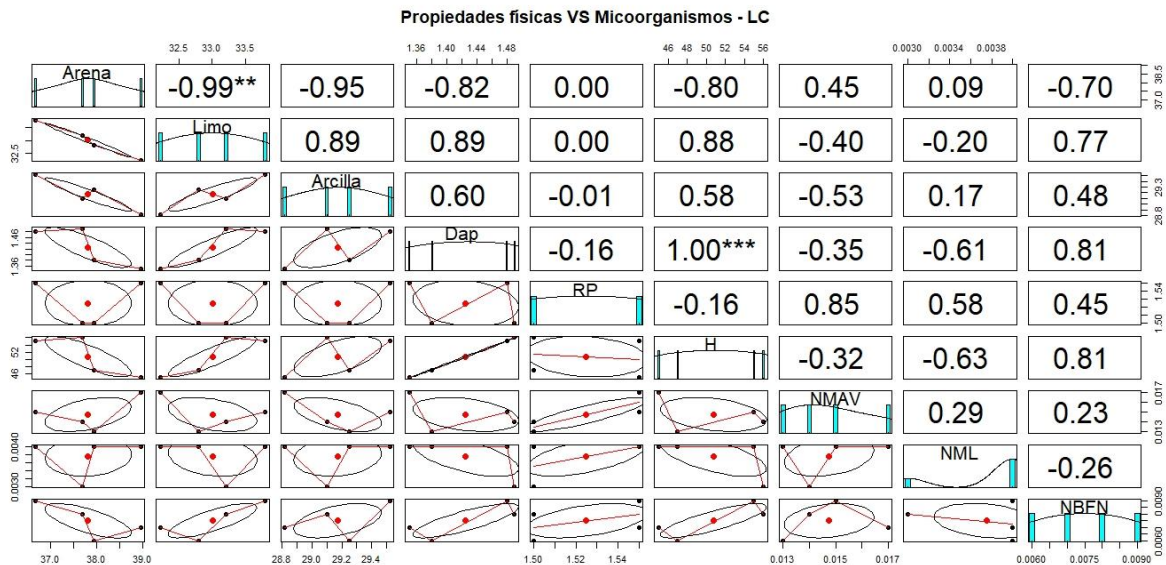
Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad, pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiante, Al=Aluminio cambiante, y H.1=Hidrogeno cambiante.

Figura 15. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a propiedades químicas de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.

Correlación positiva perfecta entre Dap con pH, MO (+1 ***), esto nos indica que la MO influye en la Dap, y que el pH indica su acidez o alcalinidad.

- Propiedades físicas VS Micoorganismos – LC

En la **Figura 16** observamos que el suelo en el cacaotal del sector Los Cedros no presenta correlación (Significativo) entre las variables de propiedades físicas con los microorganismos, pero existe correlación positiva considerable entre limo con NBFN, Dap con NBFN, RP con NMAV, H con NBFN; correlación positiva media entre RP con NML. Asimismo, presenta correlación negativa media entre arcilla con NMAV, H con NML.

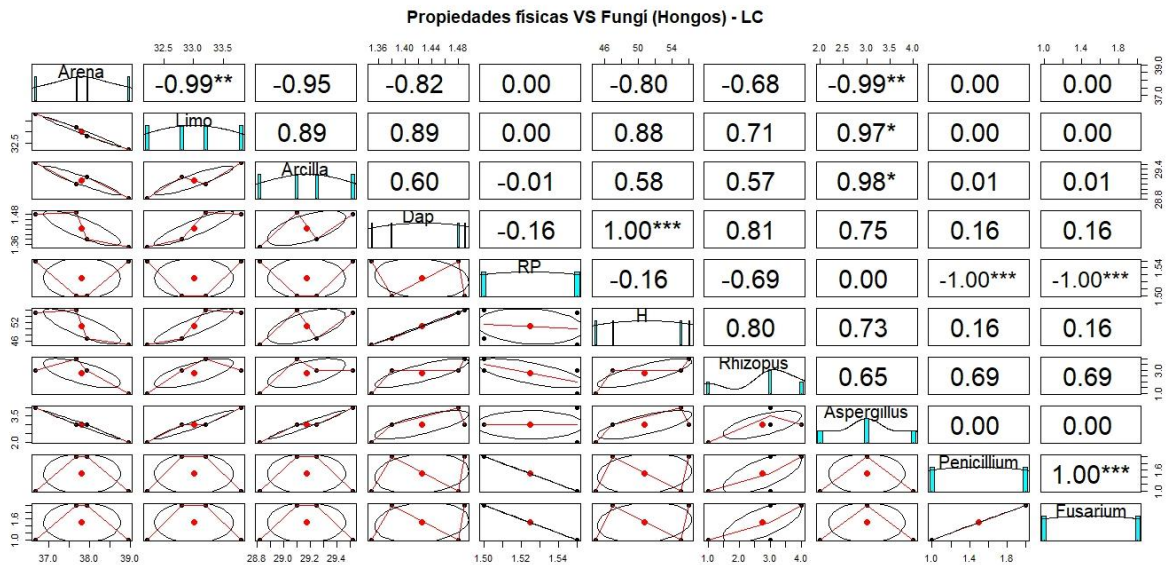


Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad, NMAV= Microorganismos aerobios viables, NML= Numeración de mohos y levaduras, NBFN= Numeración de bacterias fijadoras de nitrógeno.

Figura 16. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.

- Propiedades físicas VS Fungí (Hongos) – LC

En la **Figura 17** se puede apreciar una correlación positiva perfecta (Significativo) entre *Penicillium sp* con *Fusarium sp*; Correlación positiva muy fuerte (Significativo) entre limo con *Aspergillus*, y arcilla con *Aspergillus*; correlación positiva considerable Dap con *Aspergillus*. También podemos ver una correlación negativa perfecta (Significativo) entre RP frente a *Penicillium sp* y *Fusarium sp*; correlación negativa muy fuerte (Significativo) entre arena con *Aspergillus*. De igual forma se observa que no existe correlación entre arena y limo con *Penicillium sp* y *Fusarium sp*, también entre RP Y *Aspergillus*, y por último entre *Aspergillus* frente a *Penicillium sp* y *Fusarium sp*.



Dap=Densidad aparente, RP=Resistencia a la penetración, H=Humedad

Figura 17. Correlación de Pearson de propiedades físicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.

Correlación positiva perfecta entre *Penicillium sp* con *Fusarium sp* (+1 ***), esto indica que ambos hongos contribuyen a mejorar la estructura del suelo y sus parámetros físicos no se ven alteradas.

- Propiedades físicas VS Bacterias – LC

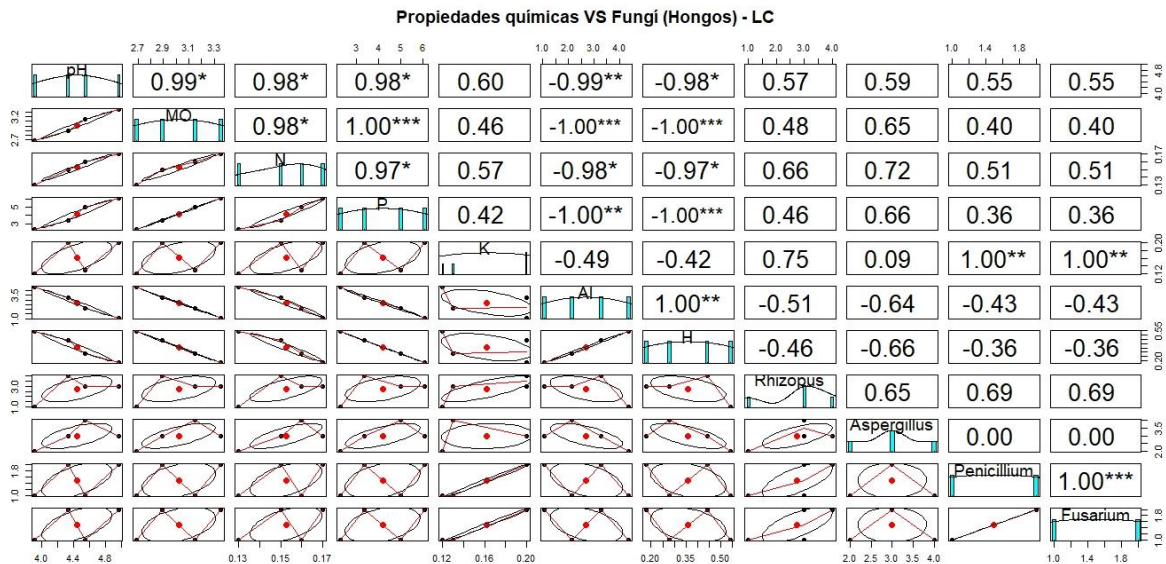
En la **Figura 18** correlación positiva perfecta (Significativo) entre *Lactobacillus sp* frente a los *Enterobacter aerogenes*; también correlación positiva muy fuerte (Significativo) entre Dap y H frente a *Bacillus sp*; correlación positiva muy fuerte entre Dap y H con *Lactobacillus sp* y *Enterobacter aerogenes*, *Lactobacillus sp* con *Bacillus sp* y a la vez *Bacillus sp* con *Enterobacter aerogenes*; correlación positiva considerable entre limo frente a los Actinomicetos y *Bacillus sp*, arcilla frente a los Actinomicetos. De igual forma se aprecia la correlación negativa considerable esta entre arena frente a los Actinomicetos y *Bacillus sp*, arcilla frente a lo *Bacilos*. La RP no tiene correlación con los *Bacilos* y *Bacillus sp*, del mismo modo los *Bacilos* no guardan correlación con *Bacillus sp*.

pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiabile, Al=Aluminio cambiabile, H=Hidrogeno cambiabile, NMAV= Microorganismos aerobios viables, NML= Numeración de mohos y levaduras, NBFN= Numeración de bacterias fijadoras de nitrógeno.

Figura 19. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los microorganismos de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.

- **Propiedades químicas VS Fungí (Hongos) – LC**

En la **Figura 20** existe correlación positiva perfecta (Significativo) entre K frente a los *Penicillium sp* y *Fusarium sp*, así mismo, entre *Penicillium sp* frente a *Fusarium sp*, correlación positiva considerable entre K con *Rhizopus sp*, *Correlación positiva media* entre pH y N frente a *Rhizopus sp*, *Aspergillus*, *Fusarium sp*, *Penicillium sp*, MO y P frente a *Aspergillus*, K frente a *Rhizopus sp*. También hay *Correlación negativa media* entre Al frente a *Rhizopus sp* y *Aspergillus*, y de H frente a *Aspergillus*.



pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiabile, Al=Aluminio cambiabile, H=Hidrogeno cambiabile,

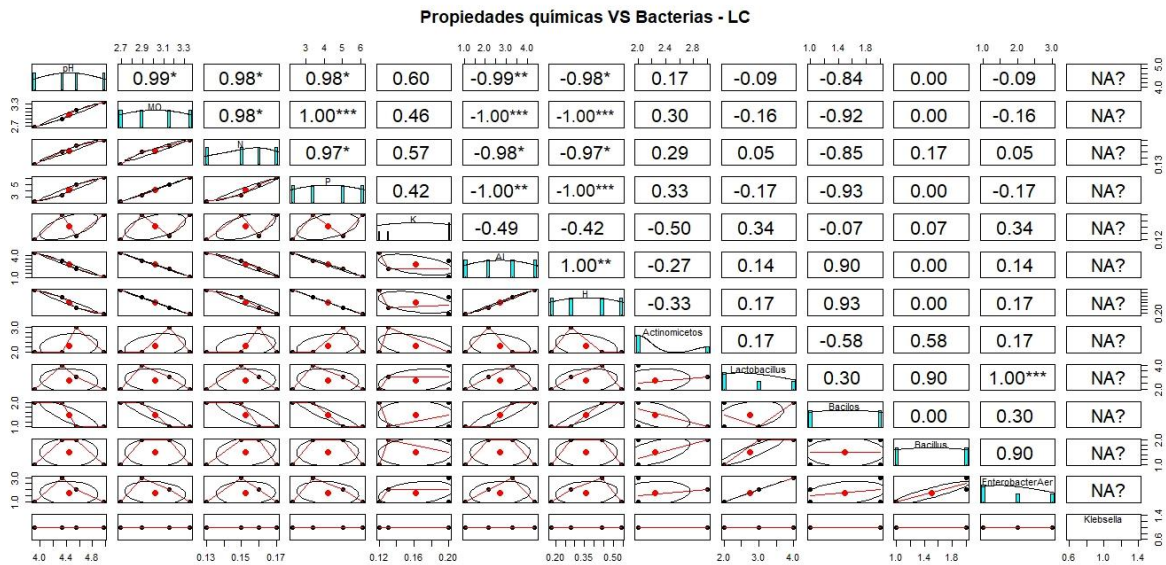
Figura 20. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a los Fungí (Hongos) de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.

Correlación positiva perfecta entre Potasio con *Penicillium* y *Fusarium sp* (+1 ***), esto indica que los hongos ayudan a descomponer la MO y que influye directamente en la distribución del potasio por lo que se presenta cambios ligeros en los indicadores químicos de la tierra.

- **Propiedades químicas VS Bacterias – LC**

En la **Figura 22** los *Lactobacillus sp* presentan correlación positiva perfecta (Significativa) frente a los *Enterobacter aerogenes*. No existe correlación significativa de las

variables químicas ante las variables de las bacterias. Se puede apreciar una correlación positiva muy fuerte de Al ante los *Bacilos*, de los *Lactobacillus sp* ante los *Bacillus sp*, así mismo de los *Bacillus sp* ante los *Enterobacter aerogenes*. Por otra parte, presenta correlación negativa muy fuerte de MO y P ante los *Bacilos*; correlación negativa considerable de pH y N ante los *Bacilos*. También se puede presenciar que no existe correlación entre *Bacillus sp* ante los *Bacilos*, H, Al, P, MO y pH.



pH=Potencial de Hidrogeno, MO=Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fosforo disponible, K=Potasio cambiante, Al=Aluminio cambiante, H=Hidrogeno cambiante, NA=No aplicable.

Figura 21. Correlación de Pearson de propiedades químicas frente a las bacterias de un suelo en el cacaotal del sector Los Cedros.

Correlación positiva perfecta entre Potasio con *Enterobacter Aerogenes* (+1 ***), esto nos indica que la bacteria puede actuar como un agente solubilizador de potasio para ser absorbido por las plantas por ende se presentan cambios ligeros en las propiedades químicas del suelo.

V. CONCLUSIONES

- Los suelos de las parcelas presentan una textura Franco Arcilloso, densidad aparente ideal para el crecimiento de las raíces, resistencia a la Penetración responde a suelos suaves encontrados en las parcelas de Theobroma Cacao L. en el sector de Bolsón Cuchara.
- Los suelos de las PR tienen un pH fuertemente ácido ($\text{pH} < 5.5$), materia orgánica y Nitrógeno con un contenido medio, fósforo, potasio, calcio, magnesio y capacidad de intercambio catiónico de niveles bajos en las dos parcelas representativas del sector Bolsón Cuchara.
- Algunos microorganismos están directamente relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo con cultivo de cacao (Theobroma Cacao L) en el sector de Bolsón Cuchara.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar la investigación en diferentes cultivos ya sea en plantas ornamentales, frutales, agrícolas y en especies forestales.
- Realizar estudios de la población microbiana presentes en los suelos con cultivos de cacao en otros sectores.
- Se recomienda realizar una investigación más detallada a los microorganismos de suelos considerando previamente el análisis microbiológico del suelo con cultivo de cacao para ver de qué manera influyen los microorganismos en su producción.
- Realizar estudios de microorganismos benéficos en la agricultura, puesto que ayudaría a mejorar el estado del suelo y al buen rendimiento del cultivo.

VII. REFERENCIAS

- Alfonso, E. T., Leyva, Á., & Hernández, A. (2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista colombiana de Biotecnología*, 7(2), 47-54.
- Arca, M. (2000). El cultivo de cacao en la amazonia peruana, ministerio de agricultura 377 pág.
- Apnan. (2003). Red de Agricultura natural de para la Región Asia/Pacifico Red de Agricultura natural de para la Región Asia/Pacifico. Manual de Aplicación. (En Línea: [Www.apnam.com](http://www.apnam.com)), 16 ener.2024.
- Becerra, J., Quintero, D., y Matiz, A. (2011). Caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato aislados de suelos destinados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) 195 – 208 pág.
- Barrezueta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155-166.
- Bornemisza, E. (1982). Introducción a la química de suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Bolfor, M., Bonifacio, F. y Todd, S. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz. Bolivia. 356-340.
- Burbano, H. 1989. El Suelo una visión sobre sus componentes inorgánicos. Pasto - Colombia. 421 pág.
- Bravo, C. (2004). Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el rendimiento de frijol. En línea: (<http://www.zonanosaturada.com/zns11/publications/p79.pdf>, documentos) 17 ener. 2024.
- Cadena, S. (2009). Uso de los microorganismos eficaces (EM) y la vinaza como potencializadores de microorganismos biotransformadores de residuos de cosecha y fijadores de nitrógeno en el cultivo de la caña de azúcar. En línea: Fundases, (<http://www.fundases.com/userfiles/file/2.%20SILVIO%20CADENA%20EM%20Hda%20%20Judea%202009.pdf>. Documentos) 15 ener.2023.
- Calvo Vélez, P., Reymundo Meneses, L., & Zúñiga Dávila, D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología aplicada*, 7(1-2), 141-148.
- Correa, O. (2013). los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal. Cátedra de microbiología agrícola e instituto de investigaciones en biociencias agrícolas y ambientales INBA/CONICET-UBA facultad de agronomía UBA Av.

- San martin 4453 CI417DSE Buenos Aires-Argentina correa@agro.uba.ar. En línea: (<https://www.researchgate.net/publication/306960003>. 18 ener. 2024).
- De La Rosa, D. (2008). Evaluación agroecológica de suelos para un desarrollo rural y sostenible. 1ra edición, 404 pág. En línea: (<http://www.amvediciones.com/agric.htm>. 25ener.2024.)
- Diaz, Q. (2017). Análisis estructural del bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva mediante parcelas permanentes de medición.
- Donahue, R., Miller, W. y Shickluna, J. (1981). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Editor Prentice/Hall Internacional Madrid España 624 pág. En línea: (<https://www.worldcat.org/title/introduccion-a-los-suelos-y-al-crecimiento-de-las-plantas/oclc/651501877>) 12 enero 2021.
- Enríquez, C. y Cabalceta, G. (1999). Guía práctica para el estudio Introductorio de los suelos con un enfoque Agrícola. ACCS. 1ª edición. San José, Costa Rica.100-120.
- FAO. (2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura, Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo. En línea:([http://www.fao.org/soilsportal/levantamientodesuelos/propiedades del-suelo/es/](http://www.fao.org/soilsportal/levantamientodesuelos/propiedades-del-suelo/es/)) 4 enero.2024.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2ª Edición IICA. San José - Costa Rica. 420 pág.
- Fernández, R. y Leiva, M. 2003. Ecología para la agricultura. 1ra edición. 223 pág. En línea: (<http://www.amvediciones.com/agric.htm>. 20 ener.2021).
- Fundases. (2009). Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenible. En línea: ([http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorG Benef Efect.pdf](http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorGBenefEfect.pdf).documentos) 17 ener.2021.
- García, H. G., González, A. F., Pineda, M., Escalante, H., Yzquierdo, G. A. R., & Bracho, A. S. (2021). Microbiota edáfica en lotes de plátano con vigor contrastante y su relación con propiedades del suelo. *Bioagro*, 33(2), 143-148
- Garzón Marín, I., Cruz, E. C., Infante, A., & Cuervo, J. L. (2022). Efecto del compost de residuos de flores sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Acta Agronómica*, 71(2), 111-118.
- García, C. (2003). Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. En Investigación de la Enzimología, España 250 pág.
- Guerrero J. (1998). Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones, Universidad Nacional Agraria la Molina. 1ª Edición, La Molina, Lima – Perú. 456 pág.

- Herrick y Jones. (2002). Resistencia a la penetración. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México DF, 20 pág.
- Higa, T., & Parr, J. F. (2013). Microorganismos Benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenibles. *Maryland (USA): Centro internacional de Investigación de Agricultura Natural, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 13(2)*, 128-135.
- Hurtado, A. (2001). ¿Qué son microorganismos eficientes? En línea: (<http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080731132826aa6mgbr>. 17 ener.2023).
- Ibanez, J. (2007.) la importancia de la relación del suelo, las plantas, los microorganismos y la biotecnología en la agricultura moderna. En línea: <https://www.informeagricola.com/importante-relaciondelsuelolasplantas-los-microorganismos-y-la-biotecnologia-en-la-agricultura-moderna/> 15ener.2023
- Intagri, (2017). Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5p. consultas en castellano, JONAS, Z., 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas. Ediciones. Intagri.Gto., México. 186 pág. en línea:(<https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/los-factores-de-formacion-del-suelo>. 13 ener.2023).
- Jaime, M., López, R. y Poch, R. (2019). Edafología, Uso y protección de suelos. 4ta edición, 624 pág. En línea: (<http://www.amvediciones.com/agric.htm> 26 ener.2023).
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro, 25(1)*, 47-56.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad nacional de Colombia: 4ta edición, Facultad de Ciencias Medellín 619 pág.
- Leiva, E., Osorio, M., & Ramírez, R. (2013). Microorganismos asociados a la rizosfera del cacao (*Theobroma cacao* L) en condiciones de bosque húmedo premontano (bh-pm). *Suelos Ecuatoriales, 43(1)*, 35-45.
- Lietor, J., Linares, J., Martín, G. y García, R. (2003). Relaciones suelo planta en bosques de *Abies Pinsapoboiss* disponibilidad de nutrientes y estatus nutricional. Málaga - España 16 pág.
- Linares, D., Tapia, S., Gamarra, O. Y Torres, J. (2007). Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el Parque Nacional Tingo María, Huánuco – Perú.

- Universidad Nacional Agraria de la Selva. Consorcio Internacional Iniciativa Amazónica para la Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Naturales (IA).
- Lozano, Y. (2014). Interacciones entre plantas y microorganismos del suelo, consecuencias para la dinámica de comunidades vegetales. Universidad de Almería – España 140 pág.
- Mantilla-Paredes, A. J., Cardona, G., Peña-Venegas, C. P., Murcia, U., Rodríguez, M., & Zambrano, M. M. (2009). Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Revista de biología tropical*, 57(4), 915-927.
- Maurya, S., Abraham, J. Somasundaram, S., Toteja, R., Gupta, R., y Makhija, S. (2020). Indicadores para la evaluación de la calidad del suelo, monitoreo y evaluación ambiental. 192 pág. En línea (<https://www/Manuscrito%20de%20libro-mohos%20y%20levaduras.pdf>) 9ener2024.
- Martinez Ureta, D. Y. (2019). Relación de la macrofauna con las propiedades del suelo en diferentes sistemas de uso, distrito Monzón, provincia Huamalés.
- Mendoza, R. (2011). Manejo de suelos utilizando indicadores de calidad de suelo. Universidad Nacional Agraria. Managua – Nicaragua. *Guía técnica 120-125*
- Mejía, L. (2005). Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao Aspectos eco fisiológicos relacionados con el cultivo del cacao. 140 pág.
- Millan, E. y Davis, J. 2014. Cacao para su exportación y su manejo agronómico, institución que lo publica USAID. En línea: (https://www.fedecacao.com/site/images/recourses/pub_doctecnicos/cacao_pub_doc_05B.pdf) 20 ener2023.
- Miranda, R. y Caballero, A. (2015). Métodos y análisis del suelo. La Paz - Bolivia. UDIC. UMSA.84 pág.
- MINAGRI. (2015). Ministerio de Agricultura y Riego. Estudio del cacao en el Perú y en el Mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. MINAGRI-DGPA-DEEIA. 90 pág. En línea: (<https://bibliotecavirtual.minagri.gob.pe/index.php/analisiseconomicos/estudios/2016/21-estudio-del-cacao-en-el-peru-y-en-el-mundo/file.24> ener.2021).
- MINAM. (2014). Ministerio del Ambiente. Manual de muestreo de suelos. Editorial ministerio de agricultura, Lima – Perú. 75 pág.
- Navarro, S. y Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal. 2ª edición, Mundo Prensa España 250 pág.

- Ortiz, I., Fernández, E. y Martín, F. (2008). Propiedades físicas del suelo en gabinete y su aplicación en la identificación de horizontes edáficos. [En línea]: CAT (<http://www.cat/index./ect/article/viewfile/>. 18ener.2021).
- Ortiz - Valbuena, K. L., & Álvarez-León, R. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 19(1), 65-84.
- Panduro, G. (2013). Diversidad de Macrofauna en diferentes sistemas de uso del suelo en el Bosque Reservado de La Universidad Nacional Agraria De La Selva.
- Paredes, M. (2004). Manual del Cultivo del Cacao. En línea: Disponible en (<https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf> 22ener 2024).
- Pérez, A. (2008). Caracterización fisicoquímica y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. En línea: (<http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n3/art02.pdf>. documentos. 20 ener.2021).
- Ponce, D. (2019). Evaluación de las poblaciones microbiológicas predominantes en suelos asociados a cacao, Quevedo–Ecuador.
- Quispe, S. (2013). Propiedades biológicas y físicas del suelo bajo diferentes sistemas de manejo en el cultivo de café.
- Quinto Carhuacho, C. E. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo la influencia de tres sistemas de uso de la tierra en el Distrito José Crespo y Castillo, Leoncio Prado.
- Ramírez, R. y Salazar, C. (2006). Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un suelo Andisol - Marinilla La Montañita 260 pág.
- Rengifo, M. (2011). Aislamiento e Identificación de fungí y bacterias presentes en abono orgánico bocashi en el distrito de Daniel Alomia Robles. Tesis para optar el título de ingeniero en recursos naturales renovables mención conservación de suelos y agua. Tingo maría – Perú.
- Ruiz, S. (2018). Influencia de microorganismos sobre características fisicoquímicos de los suelos de cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en Tingo María. *RevIA*, 2(1-2).

- Ruiz, F. (2008). Biodiversidad del suelo, conservación de la naturaleza y sostenibilidad. [En línea]: ([http://www.tec.ac.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista Tecnologia Marcha/pdf/tecnologia_marcha_21-1/184_190.pdf](http://www.tec.ac.cr/sitios/Vicerrectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista_Tecnologia_Marcha/pdf/tecnologia_marcha_21-1/184_190.pdf). 23 ener.2023).
- Sánchez, P. (1981). Suelos del Trópico, Características y Manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 634 pág.
- Sipae. (2016). Sistema de investigación sobre la problemática agraria en el Ecuador. Cacao y el campesino. En línea: <https://www.alasru.org/pdf/Cacao.y.campesinos.pdf> 24ener.2024.
- Soria, M. A. (2016). ¿ Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura?. *Química Viva*, 15(2), 3-10.
- Suarez, E. (2016). Caracterización molecular de la microbiota de plantas sanas y enfermas e identificación de cepas nativas in vitro del hongo Fito patógeno en el cultivo de cacao.
- Toalombo, I., y Maribel, R. (2012). Evaluación de Microorganismos Eficientes Autoctonos Aplicados en El Cultivo de Cebolla Blanca (*Allium Fistulosum*). Universidad Técnica de Ambato. Tungurahua - Ecuador 200 pág.
- Trasar, M., Leirós, M., y Gil, F. (2000). Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos. Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa Microbiana.
- Vásquez Acuña, D. (2019). Características físicas y químicas de un suelo con especies forestales y su relación con los microorganismos.
- Wild, A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de Urbano Terrón y Rojo Fernández. Mundo - Prensa. Madrid – España. 1045 pág.
- Wolkwski, G. (1990). los suelos, su origen, constitución y clasificación. Edición omega S.A Barcelona. McGrawHill interamericana, 73–739.
- Yanarico, R. (2016). Caracterización física y química en suelos productivos de acuerdo al uso y aptitud agrícola en tres comunidades del municipio de Umala. La Paz - Bolivia. UMSA 84-98.
- Yáñez Yáñez, W., Villacís-Aldaz, L. A., León-Gordón, O. A., Velástegui-Espín, G. P., López-Villacís, I. C., & Cruz-Tobar, S. E. (2016). Efectos de un compost enriquecido con microorganismos eficientes sobre la germinación de semillas recalcitrantes de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg y *Theobroma cacao* L. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 100-108.
- Zavala, S. (2007). Factores Edáficos, nutrición mineral y fertilización de cacao. Diplomado en cultivos tropicales.

Zavaleta, G. (1992). Edafología. El suelo en relación con la producción. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima – Perú 120 pág.

ANEXOS

Muestreo de las parcelas representativas y determinación de los parámetros físicos

En los muestreos realizados de las parcelas representativas podemos observar, la cantidad de materia orgánica y la diversidad de macrofauna que hay en el suelo tal es el caso de lombriz de tierra. Como bien sabemos la raíz principal del cacao crece hasta 2 metros de profundidad y sus raíces secundarias que salen los primeros 30 cm la cual lo ayuda a absorber nutrientes y agua a la planta de cacao.



Figura 23. Toma de muestreo de las parcelas representativas.

Algunos parámetros físicos se determinaron *insitu* tal es el caso de la temperatura y de la resistencia del suelo, así también en cada parcela representativa se dispuso 5 puntos de muestreo para recolectar muestras para determinar la densidad aparente y porcentaje de humedad.



Figura 24. Tomando la muestra para determinar los parametros fisicos (densidad aparente, temperatura y la resistencia del suelo – *insitu*)

7.1. Recuento de microorganismos NMAV, NML, NBFN, Numero de Actinomicetos y Numeración de Lactobacillus.



Figura 25. Determinación de microorganismos por recuento SM = muestra del caserío de Santa Martha y C = del caserío de Los Cedros.

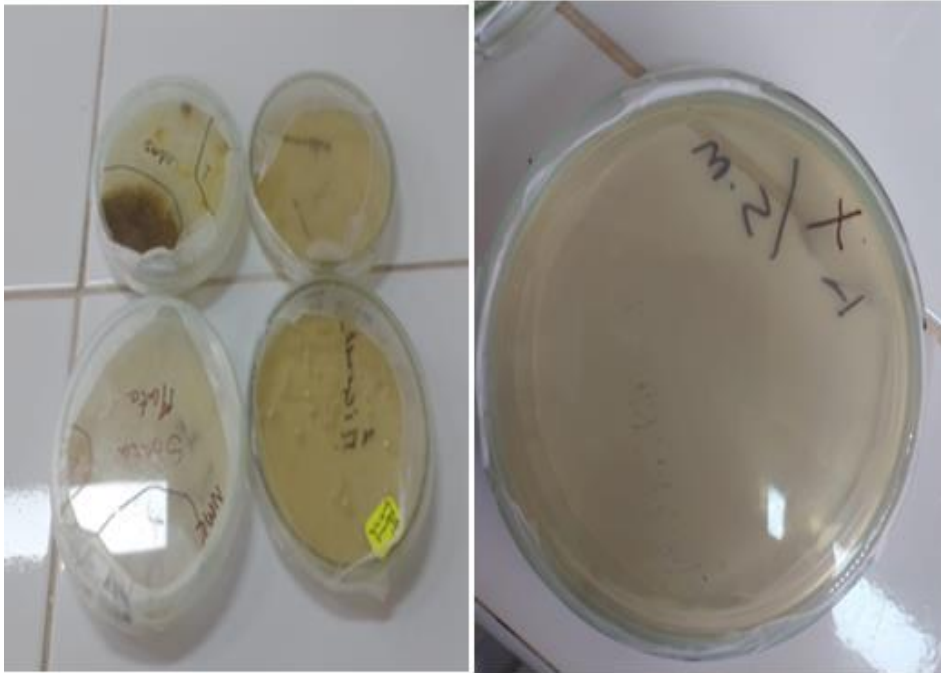


Figura 26. Numeración de colonias de Mohos y Levaduras de las dos muestras de suelo.

7.2. Aislamiento para la identificación de bacterias por método de diferenciación bioquímica.

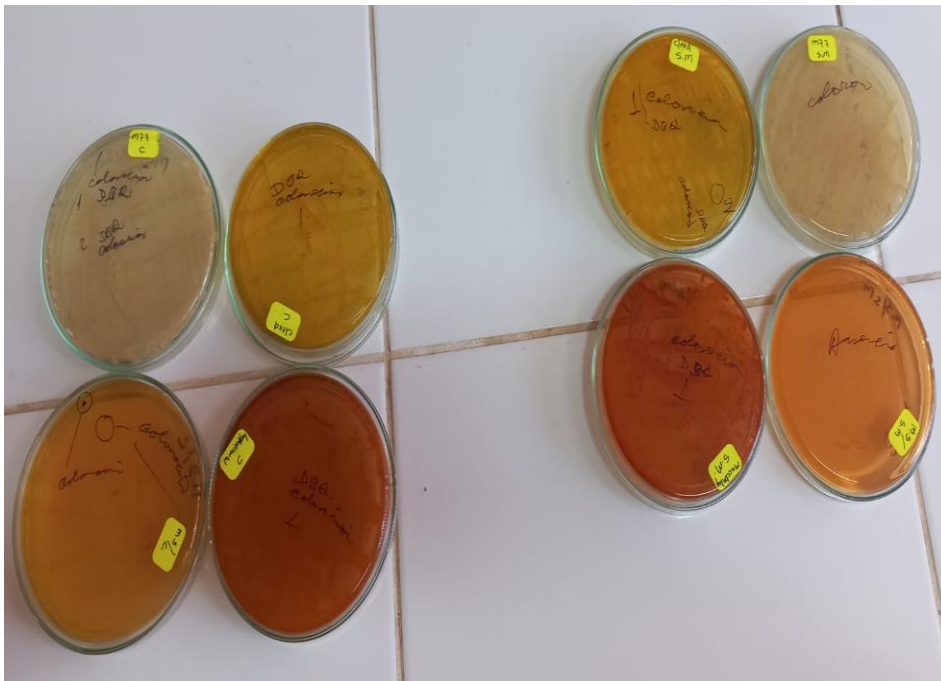


Figura 27. Aislamiento para la identificación de bacterias.



Figura 28. Medios para diferenciación bioquímica para la identificación de bacterias.



Figura 29. Prueba bioquímica en LIA y TSI para la identificación de bacterias

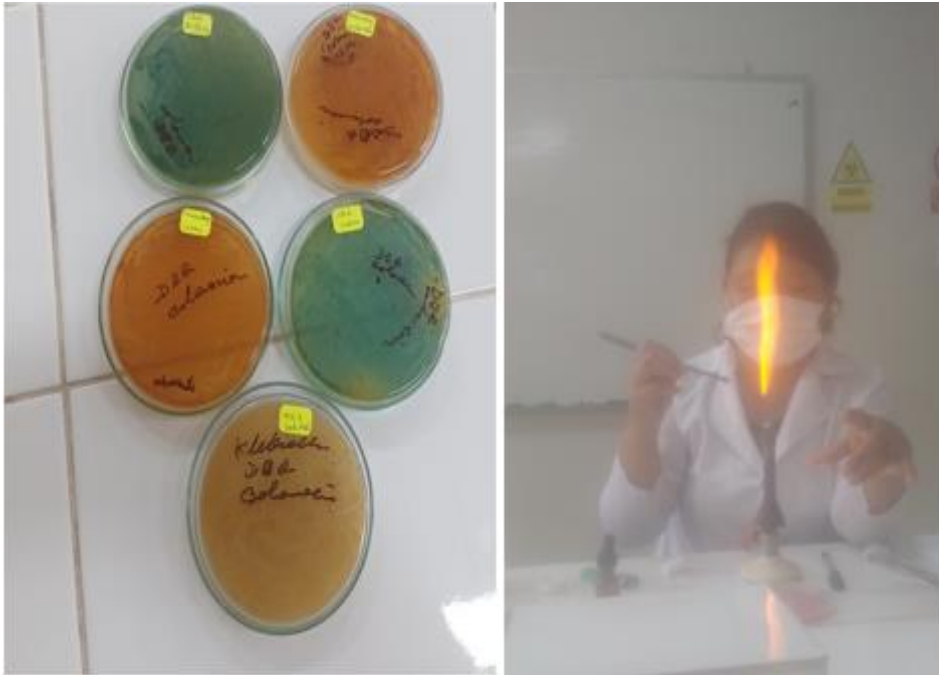


Figura 30. Identificación de bacterias gram positivas y gram negativas por método de coloración

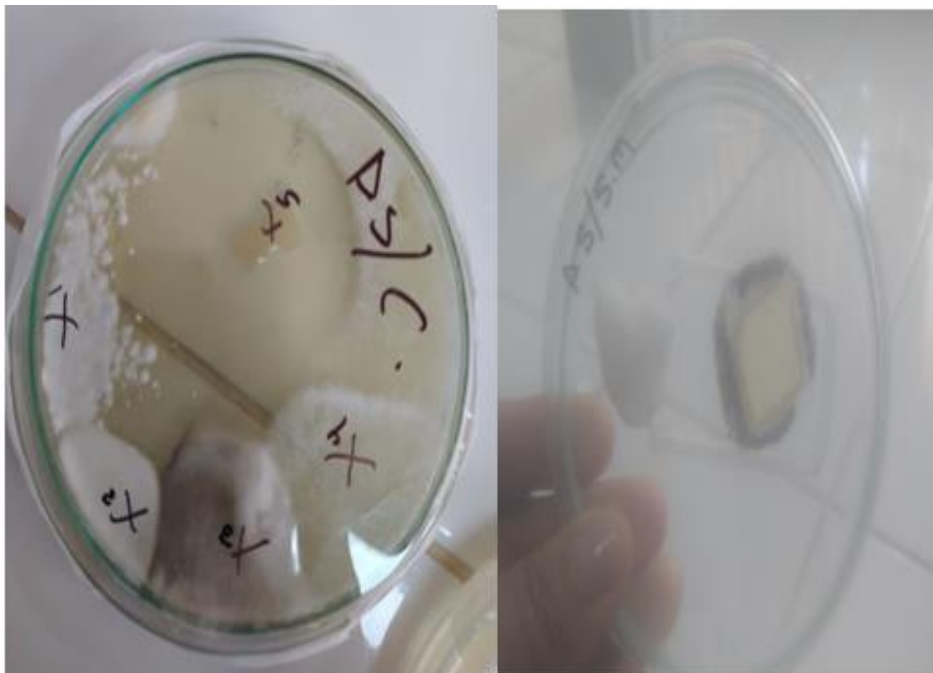


Figura 31. Identificación de hongos por micro cultivo

Medios	Muestra	I	SIM			R M	V P	C S	TSI	LIA	Malonato	Urea
			I	Motilidad	H2S							
M77	S M	+	+	-	+	-	+	-	k/A	K/A	+	-
Cleed	S M	+	+	+	-	-	+	-	k/A + H2S	K/A	+	+
Cleed	C - 1	+	+	-	+	-	+	-	K/A + H2S	K/A	+	-
Cleed	C - 2	+	+	-	+	-	+	-	K/A + gas	K/A	+	+
Macconky	S M - 1	+	-	-	+	-	+	-	K/A + gas	K/A	-	-
Macconky	S M - 2	+	+	-	-	-	+	+	K/K	K/A	+	+
Macconky	C	+	+	-	-	-	+	-	K/A	K/A	+	+
Macconky	S M	-	+	+	+	-	+	+	k/A + gas	K/K	-	+
Cleed	S M - 1	+	+	+	+	-	+	+	k/A + gas	K/K	-	-
Cleed	S M - 2	-	+	+	+	-	+	+	K/A	K/K	-	+
Cleed	C	+	-	-	+	+	-	+	A/A + gas	K/K	-	+
M77	C - 1	+	+	+	+	-	+	+	K/A + gas	K/K	-	+
M77	C - 2	+	+	-	+	-	+	+	A/A + gas	K/A	-	+
Macconky	C	-	+	+	+	-	+	+	K/A	K/A	-	+
Manitol Salado	C - 1	+	+	-	+	-	+	+	K/A	K/K	-	+
Manitol Salado	C - 2	+	+	-	+	-	+	+	K/A + gas	K/K	-	+

Nota. K/A = alcalino/acido, reacción positiva. K/K = alcalino/alcalino, reacción negativa. H2S = Acido Sulhídrico

Tabla 23. Diferenciación bioquímica para identificación de bacterias por repeticiones en diferentes medios

DIFFERENTIATION OF ENTEROBACTERIACEAE BY BIOCHEMICAL TEST																						
	ESCHERICHIEAE		EDWARD SIELLEAE	SALMONELLEAE				KLEBSIELLAEAE								PROTEAEAE						
	Escherichia	Shigella	Edwardiella	Salmonella	Arizona	Citrobacter		Klebsiella pneumoniae	Enterobacter				Serratia				Proteus				Providencia	
						freundli	diversus		cloacae	aerogenes	hofniae	agglomerans	marcescens	liquefaciens	rubidaea	mirabilis	morganii	retgersi	alkalisolens	stuartii		
INDOL (I)	+	- or +	+	-	-	-	+	-	-	-	-	- or +	-	-	-	+	-	-	-	+	+	
METHYL RED (RM)	+	+	+	+	+	+	+	- or +	-	-	- or +	- or +	- or +	+ or -	- or +	+	+	+	+	+	+	
VOGES - PROSKAUER (VP)	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+ or -	+ or -	+	- or +	+	-	- or +	-	-	-	-	
SIMMONS CITRATE (Cit)	-	-	-	d	+	+	+	+	+	+	d	d	+	+	+ or (+)	d	+ or (+)	-	+	+	+	
HYDROGEN SULFIDE (TSI)	-	-	+	+	+	+ or -	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	
UREASE (UREA)	-	-	-	-	-	d ^W	d ^W	+	+ or -	-	-	d ^W	d ^W	d ^W	d ^W	+	+	+	+	-	-	
KCN	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	- or +	+	+	- or +	+	+	+	+	+	+	
MOTILITY <i>SIM</i>	+ or -	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+ or -	+	+	+ or -	+	+	+ or -	+	+	+	
GELATIN (23C)	-	-	-	-	(+)	-	-	-	(+ or -)	- or (+)	-	d	+ or (+)	+	+ or (+)	+	+	-	-	-	-	
LYSINE DECARBOXYLASE <i>L/D</i>	d	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+ or (+)	+ or (+)	-	-	-	-	-	-	
ARGININE DIHYDROLASE	d	d	-	+ or (+)	+ or (+)	d	+ or (+)	-	+	-	d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ORNITHINE DECARBOXYLASE	d	-	+	+	+	d	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	
PHENYLALANINE DEAMINASE	-	-	-	-	-	-	-	-	+ or -	-	-	- or +	-	-	-	+	+	+	+	+	+	
MALOMATE	-	-	-	-	+	- or +	+	+	+ or -	+ or -	+ or -	+ or -	-	-	+ or -	-	-	-	-	-	-	
GAS FROM GLUCOSE <i>TS4</i>	+	-(1)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	- or +	+ or -(3)	+ or -	d	+ or -	+	+ or -	- or +	+ or -	-	
LACTOSE	+	-(1)	-	-	d	(+) or +	d	+	+ or (+)	+	d	d	-	d	+	-	-	-	-	-	-	
SUCROSE	d	-(1)	-	-	-	d	- or +	+	+	+	d	d	+	+	+	+	d	-	d	d	(+) or +	
MANNITOL	+	+ or -	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+ or -	-	d	
DULCITOL	d	d	-	d(2)	-	d	+ or -	- or +	- or +	-	-	- or +	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SALICIN	d	-	-	-	-	d	(+) or +	+	+ or (+)	+	d	d	+	+	+ or (+)	d	d	-	d	-	-	
ADONITOL	-	-	-	-	-	-	+	+ or -	- or +	+	-	-	d	d	+ or (+)	-	-	-	d	+	- or +	
INOSITOL	-	-	-	d	-	-	-	+	d	+	-	d	d	+ or (+)	d	-	-	-	+	-	+	
SORBITOL	d	d	-	+	+	+	+	+	+	+	-	d	+	+	-	-	-	-	d	-	d	
ARABINOSE	+	d	+ or +	+(2)	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	
RAFFINOSE	d	d	-	-	-	d	-	+	+	+	-	d	-	+	+	-	-	-	-	-	-	
RHAMNOSE	d	d	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+ or (+)	-	d	-	-	-	-	+ or -	-	-	

Figura 32. Tabla de identificacion de bacterias por diferenciacion bioquimica

7.3. Identificación de hongos en el microscopio

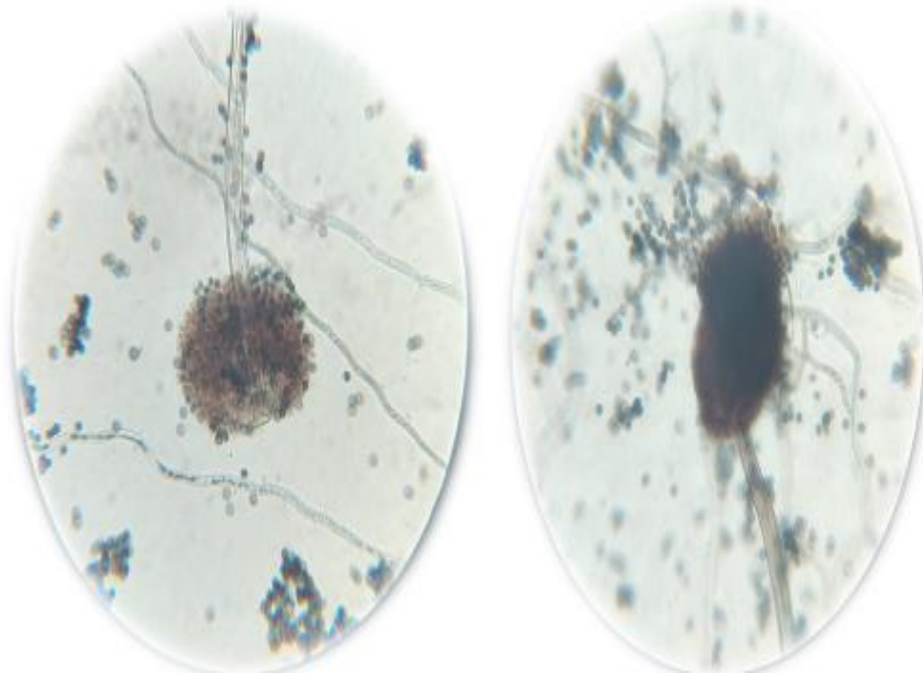


Figura 33. Identificación de *Rhizopus* sp. En las muestras de suelo de Los Cedros y de Santa Martha

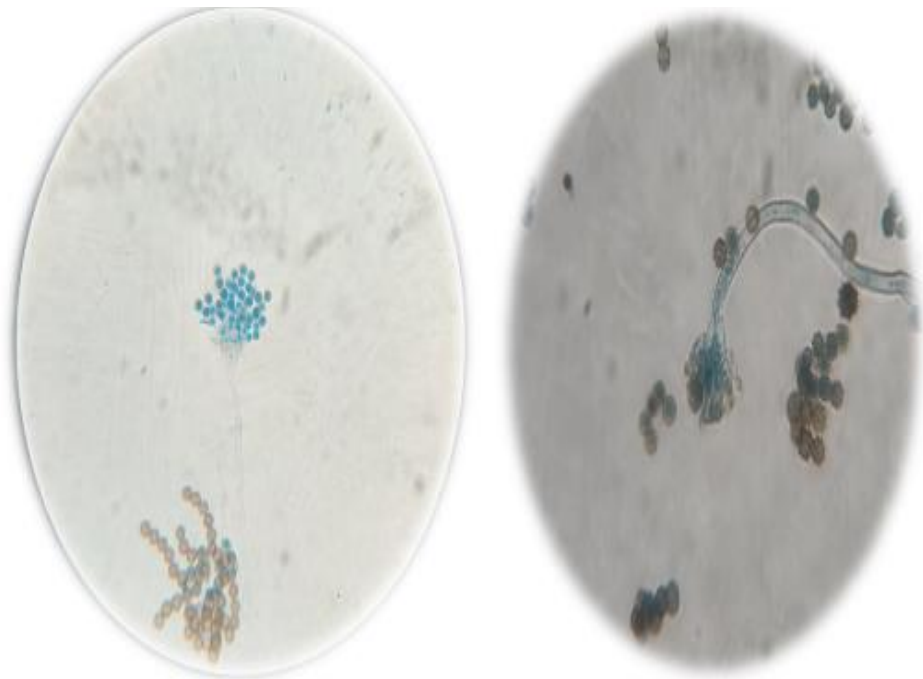


Figura 34. Identificación de *Aspergillus* en las muestras de suelo de Los Cedros y Santa Martha.

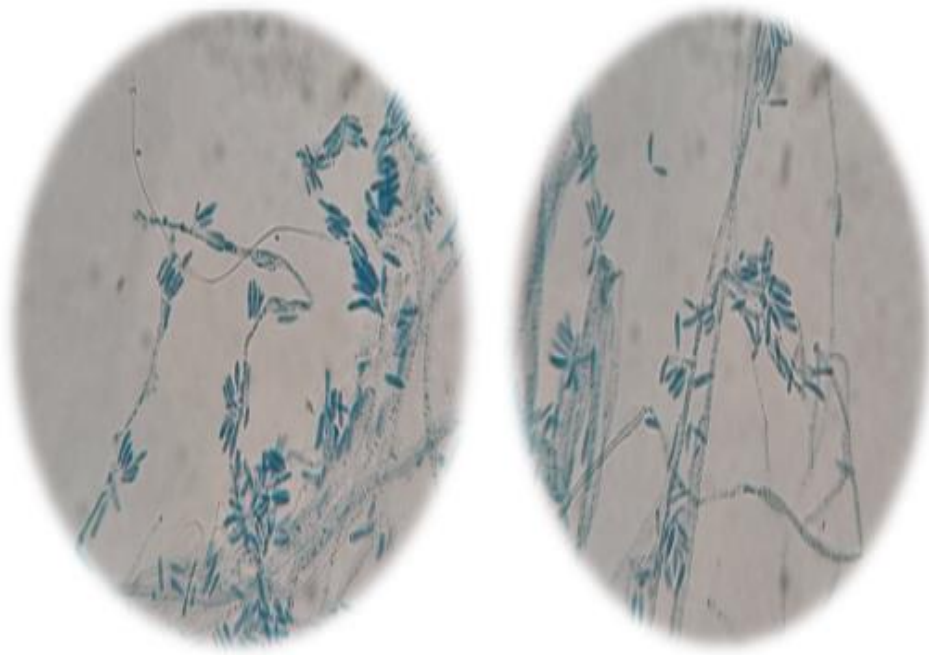


Figura 35. Identificación *Fusarium* sp en las muestras de suelo de Los Cedros y Santa Martha.

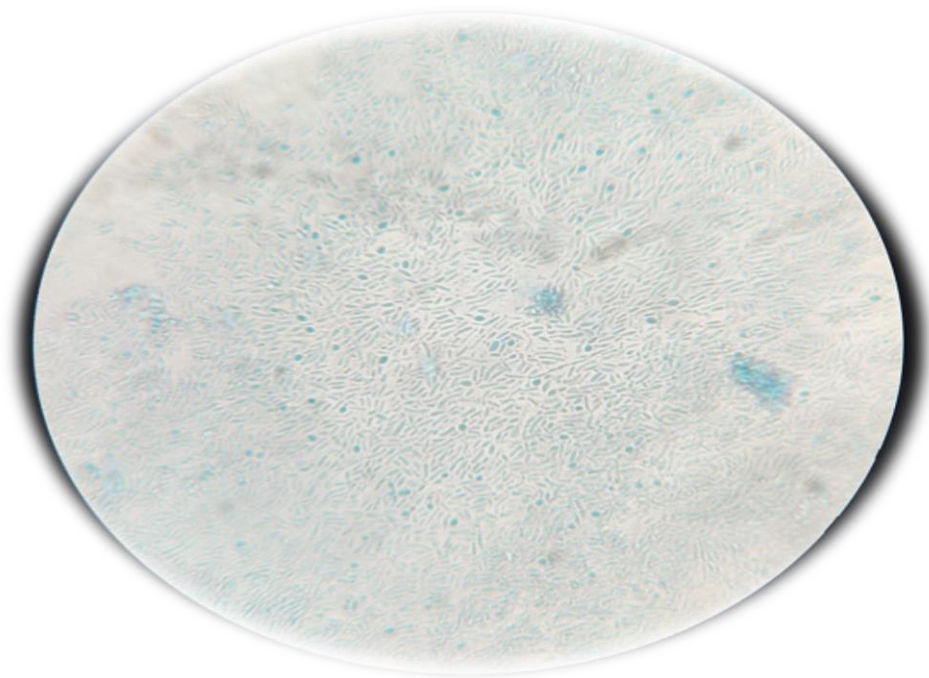


Figura 36. Identificación de *Klebsella* en la muestra de suelo de los cedros

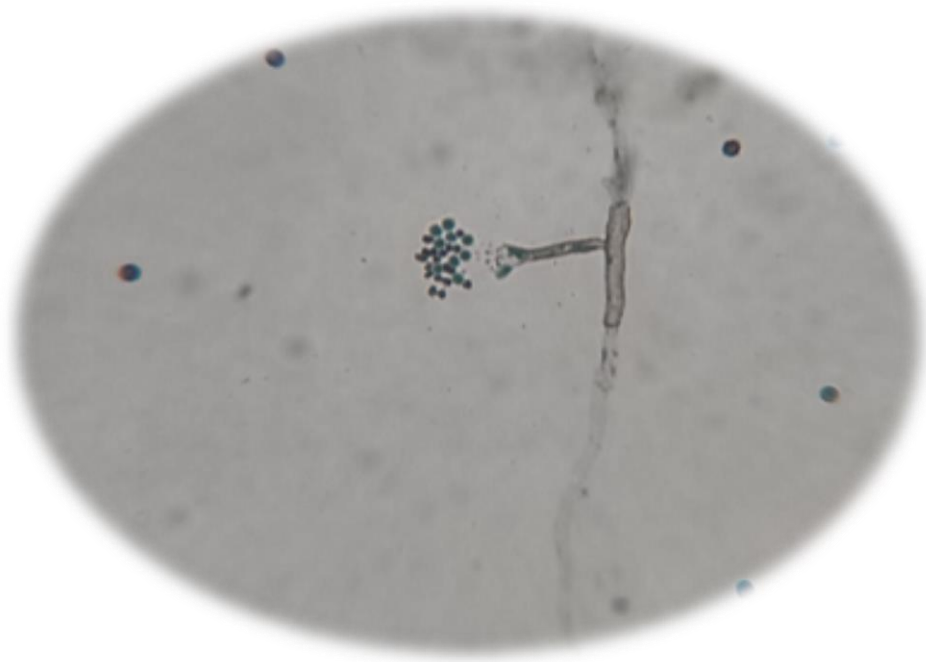


Figura 37. Identificación de *Penicillium* en la muestra de suelo de Los Cedros.

7.4. Identificación de bacterias en el microscopio

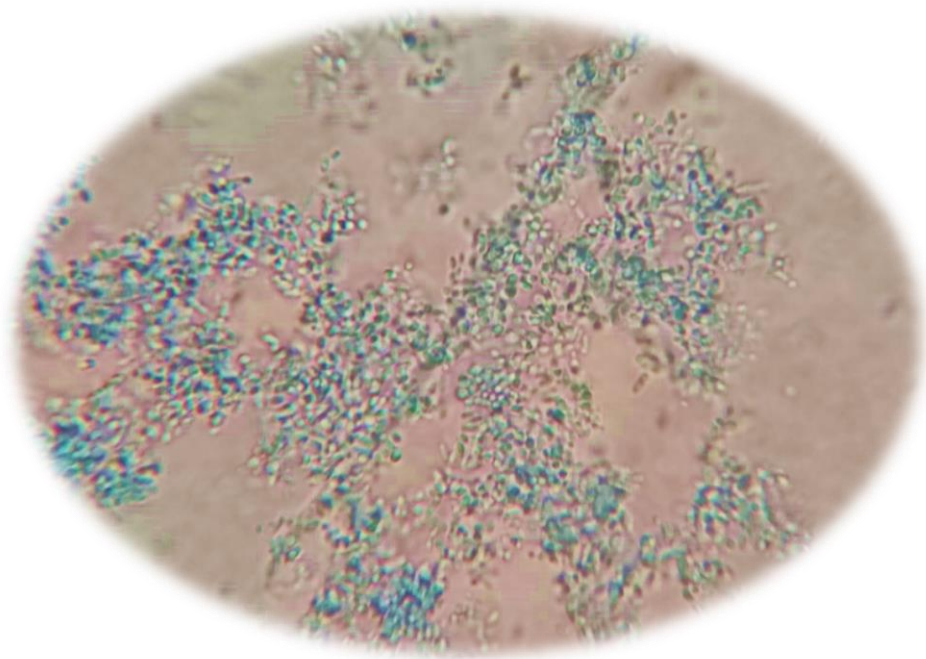


Figura 38. Identificación de *Enterobacter Agglomerans* en la muestra de suelo de Santa Martha (gram -).

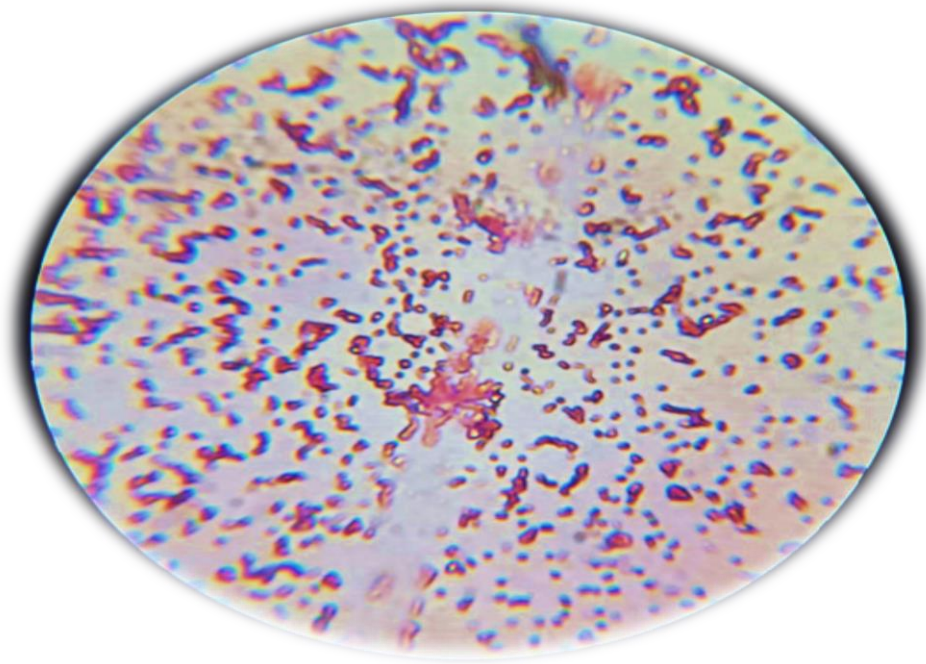


Figura 39. Identificación de *Enterobacter Aerogenes* en la muestra de suelo de Los Cedros (gram -)

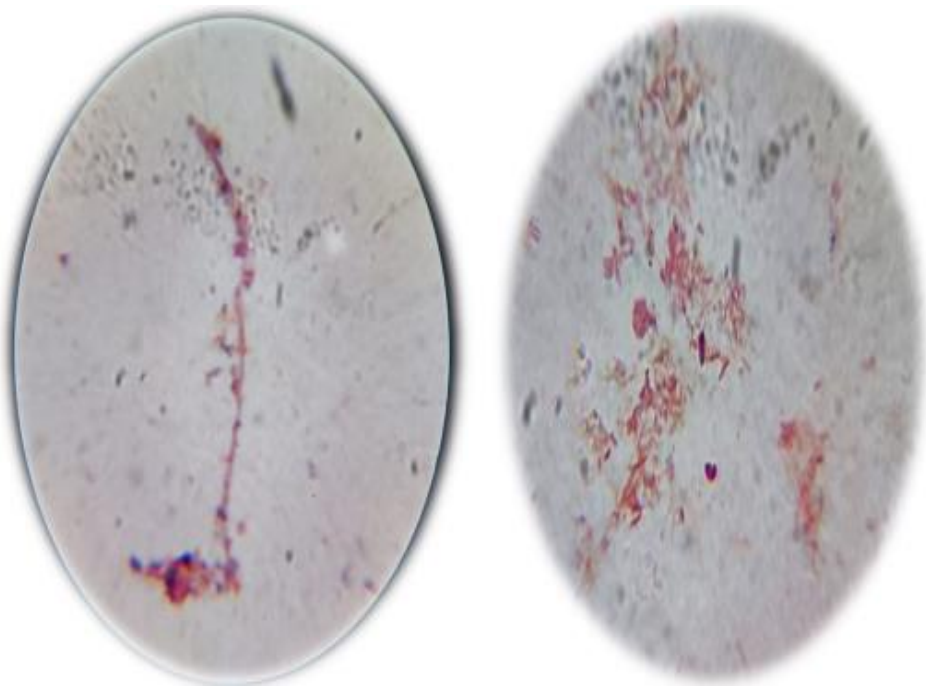


Figura 40. Identificación de bacilos en la muestra de suelo de Los Cedros y Santa Martha (Gram -).

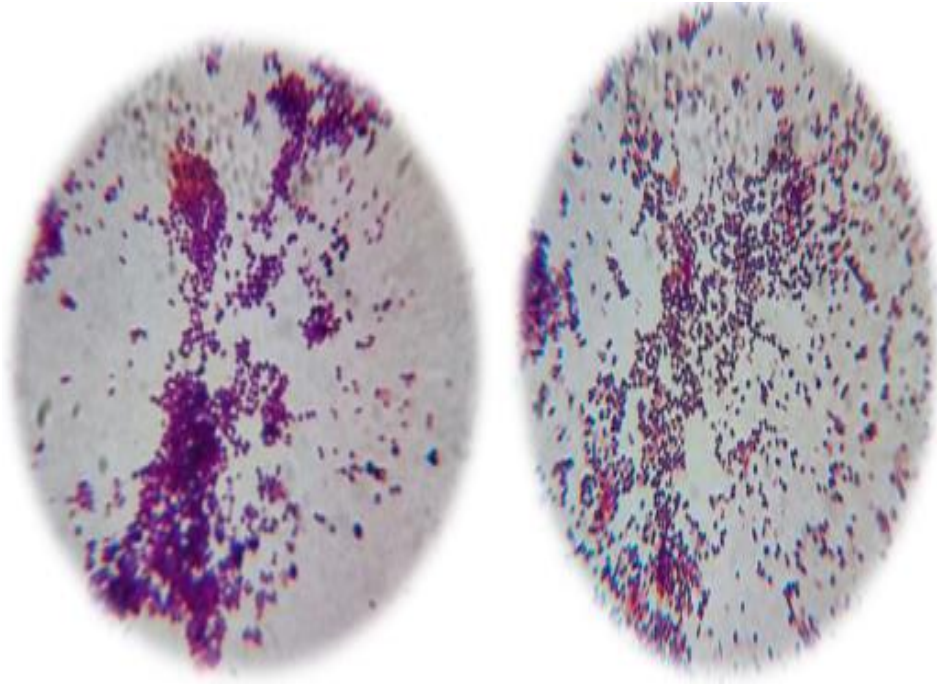


Figura 41. Identificación de bacillus en la muestra de suelos de Los Cedros y Santa Martha (Gram +).

7.5. Determinación de los parámetros químicos de las dos muestras de suelo



Figura 242. Determinado la textura del suelo y el porcentaje de aluminio de suelo

Figura 43. Resultados de los análisis físicos y químicos del primer muestreo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

ANÁLISIS DE SUELOS

1. DATOS

SOLICITANTE:	RIVERA CIERTO WINY SAMY	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	13/06/2023
PROVINCIA:	LEONCIO PRADO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	13/06/2023
DISTRITO:	JOSE CRESPO Y CASTILLO (M1) - RUPA RUPA (M2)	FECHA DE REPORTE:	20/06/2023
CASERIO:	SANTA MARTHA (M1) - LOS CEDROS (M2)	RECIBO O FACTURA:	----
CULTIVO:	CACAO	OBSERVACION:	TESIS


2. RESULTADOS DEL ANALISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	CE dS/m	M.O. %	N %	C %	P ppm	K ₂ O ppm	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiabiles %	Acidos Cambiabiles %	Saturación de Aluminio %
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural																		
			CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	%																		
1	S00524-1	M1	32.96	28.82	38.22	Franco Arcilloso	4.51	0.261	2.839	0.142	1.647	4.519	120.507	---	4.425	0.725	0.215	0.167	3.500	0.300	9.332	59.278	40.722	37.507
2	S00524-2	M2	38.96	28.82	32.22	Franco Arcilloso	3.91	0.131	2.687	0.134	1.558	2.308	81.117	---	2.135	0.240	0.121	0.177	4.350	0.540	7.563	35.342	64.658	57.518

Los Resultados presentados son válidos unicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
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 lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

Luis German Mansilla Minaya
ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

7.5.1. INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL PRIMER MUESTREO

CODIGO DE MUESTRA: S00524-1 (Santa Martha)

PH	Muy fuertemente acido
CE	Salinidad Muy ligera, Suelo Normal
CLASE TEXTURAL	Franco Arcilloso
MATERIA ORGANICA	Medio
NITROGENO	Bajo
FOSFORO	Bajo
POTASIO	Medio
SATURACION DE ALUMINIO (Al)	Toxico para planta susceptibles

Fuente: Guerrero Juan (1998).

CATIONES CAMBIABLES

CALCIO	Bajo
MAGNESIO	Medio
POTASIO	Medio
SODIO	bajo
Bases cambiables	Suelo medio (fertilidad depende la CIC)
CICe (sumatoria de cationes)	Bajo
ALUMINO	Elevado, evaluar encalar

Fuente: Guerrero Juan (1998).

CODIGO DE MUESTRA: S00524-2 (Los Cedros)

PH	Extremadamente acido
CE	Salinidad Muy ligera, Suelo Normal
CLASE TEXTURAL	Franco Arcilloso
MATERIA ORGANICA	Medio
NITROGENO	Bajo
FOSFORO	Bajo
POTASIO	Bajo
SATURACION DE ALUMINIO (Al)	Toxico para planta susceptibles

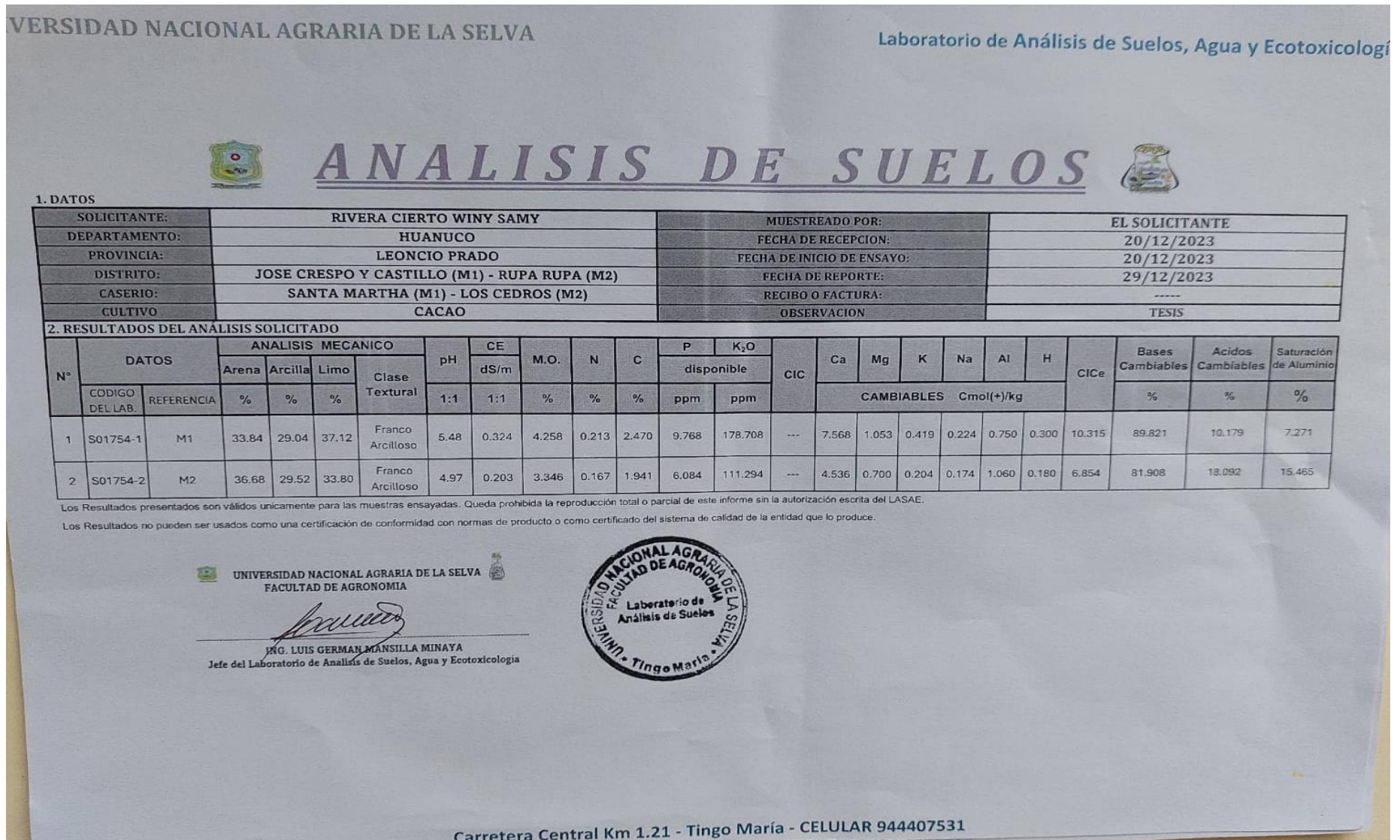
Fuente: Guerrero Juan (1998).

CATIONES CAMBIABLES

CALCIO	Bajo
MAGNESIO	Muy bajo
POTASIO	Bajo
SODIO	bajo
Bases cambiables	Suelo mu yacido
CICe (sumatoria de cationes)	Bajo
ALUMINO	Muy elevado, se recomienda encalar

Fuente: Guerrero Juan (1998).

Figura 44. Resultados de los analisis fisicos y quimicos del ultimo muestreo



7.5.2. INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL ULTIMO MUESTREO

CODIGO DE MUESTRA: S01754-1 (Santa Martha)

PH	Muy Fuertemente Acido
CE	Salinidad Muy ligera, Suelo Normal
CLASE TEXTURAL	Franco Arcilloso
MATERIA ORGANICA	Medio
NITROGENO	Alto
FOSFORO	Bajo
POTASIO	Medio
SATURACION DE ALUMINIO (Al)	No toxico

Fuente: Guerrero Juan (1998).

CATIONES CAMBIABLES

CALCIO	Adecuado
MAGNESIO	Alto
POTASIO	Alto
SODIO	bajo
Bases cambiables	Suelo medio
CICe (sumatoria de cationes)	Bajo
ALUMINIO	No es necesario encalar

Fuente: Guerrero Juan (1998).

CODIGO DE MUESTRA: S01754-2 (Los Cedros)

PH	Fuertemente Acido
CE	Salinidad Muy ligera, Suelo Normal
CLASE TEXTURAL	Franco Arcilloso
MATERIA ORGANICA	Medio
NITROGENO	Medio
FOSFORO	Bajo
POTASIO	Medio
SATURACION DE ALUMINIO (Al)	Toxico para planta susceptibles

Fuente: Guerrero Juan (1998).

CATIONES CAMBIABLES

CALCIO	Bajo
MAGNESIO	Medio
POTASIO	Bajo
SODIO	bajo
Bases cambiables	Suelo medio
CICe (sumatoria de cationes)	Bajo
ALUMINO	Evaluar encalar, no toxico

Fuente: Guerrero Juan (1998).