

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN SUELOS CON DIFERENTES USOS EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO TALGUA, CATACAMAS, OLANCHO**

POR:

YADER ONIEL GONZALES DÍAZ

INFORME FINAL DE TESIS DE GRADO



CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS C.A

Septiembre 2023

**ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN SUELOS CON DIFERENTES USOS EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO TALGUA, CATACAMAS, OLANCHO**

POR:

YADER ONIEL GONZALES DÍAZ

PhD. JOSÉ TRINIDAD REYES SANDOVAL

Asesor Principal

**INFORME FINAL DE TESIS DE GRADO PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

CATACAMAS, OLANCHO

HONDURAS C.A

Septiembre 2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros del Comité Evaluador del Informe Final de la Práctica Profesional Supervisada certificamos que:

El estudiante **YADER ONIEL GONZALES DÍAZ** del IV Año de Ingeniería Agronómica presentó su informe intitulado:

ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN SUELOS CON DIFERENTES USOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TALGUA CATACAMAS, OLANCHO.

El cual, a criterio de los evaluadores **APROBÓ** el presente trabajo de investigación como requisito previo para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Dado en la ciudad de Catacamas, Departamento de Olancho, al día uno del mes de septiembre del dos mil veinte tres.

PhD. José Trinidad Reyes Sandoval

Asesor Principal

M.Sc. Emilio Javier Fuentes

Asesor Auxiliar

M.Sc. Gerardo Humberto Mencía Meza

Asesor Auxiliar

M.Sc. Carlos Roberto Irías Zelaya

Asesor Auxiliar

DEDICATORIA

En primer lugar, a **Dios** por darme la inteligencia de sacar adelante mis estudios, dotarme de mucha fortaleza, paciencia y sabiduría en cada una de las situaciones difíciles que se presentaron, gracias a eso pude alcanzar muchos logros que me llenan de orgullo y me motivan a salir adelante.

A mi madre **Lilian Yessenia Gonzales Diaz**, por apoyarme siempre en cada decisión importante de mi vida, por educarme y motivarme a salir adelante y por todo el amor que me ha demostrado, por enseñar a qué se pueden alcanzar las metas que te propongas con esfuerzo y dedicación.

A mi abuela **Norma Alejandrina Alemán**, por apoyarme en cada momento de mi vida, por creer en mí y apoyarme con sus consejos y sermones, por ser mi mayor inspiración.

A mi tío **Selvin Josué Alemán** por siempre apoyarme desde el principio hasta el final de mi carrera y estar en uno de los logros más importantes de mi vida.

A mi tío **Gerinaldo Eristilés alemán**, aunque ya no este entre nosotros, simplemente gracias por el apoyo brindado en cada etapa de mi vida, por creer en mí en cada momento, por los consejos que me dio.

A mi hermana **Carmy Alejandra Gonzales** Gracias por tu apoyo constante, Tus palabras de aliento, quiero expresarte mi profundo agradecimiento por tu presencia y por ser la hermana excepcional que eres, deseo que siempre encuentres en mí el apoyo y la compañía que tú has sido para mí.

A mis hermanos **Olman samuel Gonzales y Eduar Omar Vargas Gonzales** que de una forma u otra han estado pendientes para apoyarme.

A mi primo **Marbin Rigoberto López Diaz** quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su valiosa colaboración, generosidad y disposición para ayudarme han sido invaluable.

A **Héctor Escobar**, agradezco tu lealtad, siempre has estado dispuesto escucharme y a brindarme tu apoyo incondicional.

Con mucho cariño a mis tías **Melvia Gómez** y **Lourdes Gonzales** por siempre mostrarme su interés y satisfacción por el progreso de mi carrera desde mis inicios hasta el final.

A toda mi familia por estar pendiente, darme su confianza y por tener la fe que iba a lograr mi objetivo de culminar mi carrera, gracias a cada uno de ellos.

AGRADECIMIENTO

A **Dios** por permitirme obtener este triunfo que llena de satisfacción y enorgullece a toda mi familia.

A la **Universidad Nacional de Agricultura** por darme la oportunidad de formarme como un gran profesional y por haberme hecho vivir una de las mejores etapas de mi vida con experiencias inolvidables.

Al **PhD. José Trinidad Reyes Sandoval** por ser mi asesor principal de tesis y mostrar toda su disposición y amabilidad para atender cada una de las dudas y aportes a mi formación como profesional, de la misma manera al **M.Sc. Carlos Roberto Irías Zelaya**, **M.Sc. Emilio Javier Fuentes** y al **M.Sc. Gerardo Humberto Mencía Meza**, por su apoyo y orientación durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Agradezco a mis amigos docentes **PhD. Orlando David Murillo Lizardo** y **Lic. Carlos Vayona** por su valiosa colaboración y corrección en mi formación académica. Su apoyo, orientación y sabiduría han sido fundamental en mi trayectoria. Gracias a su paciencia y motivación.

A mis amistades y compañeros de la universidad **Omar A, Moisés M, Luis G, Kevin F, Gelsin M, Noel C, Aníbal R, Danilo G, Leónidas F, Maynor C, Diego C, Juan Luis C, Kevin J**, por todo lo vivido a lo largo de nuestra trayectoria estudiantil, por el apoyo, experiencias de felicidad y tristeza

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	OBJETIVOS.....	2
2.1	Objetivo general.....	2
2.2.	Objetivos específicos	2
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1.	El suelo	3
3.2.	Suelos de ladera en Honduras	3
3.3.	Los agregados del suelo	4
3.4.	Estabilidad de agregados en el suelo	5
3.4.1.	Factores de formación de agregados del suelo	6
3.4.2.	Clasificación de la estructura de suelos agregados	6
3.4.3.	La degradación del suelo	7
3.4.4.	La degradación del suelo y sus efectos sobre la población.....	7
3.4.5.	La cobertura vegetal.....	7
3.4.6.	Importancia de la cobertura vegetal.....	7
3.4.7.	Cultivos de cobertura	8
3.4.8.	Las gramíneas	8
3.4.9.	Las leguminosas.....	9
3.4.10.	La erosión del suelo	9
3.4.11.	Efectos de la erosión del suelo de ladera	9
3.4.12.	Susceptibilidad de los suelos de ladera.....	10
3.4.13.	Métodos para cuantificar estabilidad de los agregados.....	11
3.5.	Propiedades químicas del suelo	13

3.5.1.	pH del suelo.....	14
3.5.2.	Materia orgánica.....	14
3.5.2.1.	Flora en materia orgánica.....	15
3.5.2.2.	Fauna en materia orgánica	16
3.5.3.	Importancia de la materia orgánica	16
3.5.4.	El humus.....	18
3.6.	Propiedades físicas del suelo	19
3.6.1.	Textura del suelo	20
3.6.2.	Densidad aparente	21
3.6.3.	Porosidad del suelo	22
3.6.4.	Estructura del suelo	23
3.7.	Pendiente del suelo de la microcuenca del Río Talgua.....	24
3.8.	Técnicas en la implementación para la conservación de suelos de ladera.....	25
3.8.1.	Barreras vivas.....	25
3.8.2.	Acequias o zanjias a nivel	26
3.8.3.	Formación de mini terrazas	26
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1.	Ubicación del sitio de investigación	27
4.2.	Materiales y equipo.....	28
4.3.	Metodología	28
4.4.	Reconocimiento del área y socialización con los integrantes de la comunidad	28
4.4.1.	Selección de parcelas de suelos	29
4.4.2.	Muestreo de suelo	29
4.4.3.	Muestras de suelo	30

4.4.3.	Extracción de muestras	31
4.4.4.	Conservación y almacenamiento de la muestra de suelos	31
4.5.	Trabajo en laboratorio de suelos	32
4.5.1.	El Secado	32
4.6.	Análisis de las características químicas del suelo.....	33
4.6.1.	Determinación de pH del suelo.	33
4.6.2.	Determinación de la materia orgánica (MO).....	34
4.6.3.	Macro y micronutrientes	34
4.7.	Análisis de las características físicas del suelo	35
4.7.1.	Determinación de la textura	35
4.7.2.	Determinación densidad aparente del suelo.....	38
4.7.3.	Determinación de la porosidad del suelo	39
4.7.4.	Determinación de la estructura del suelo	40
4.7.5.	Distribución de agregados del suelo	40
4.7.6.	Prueba de estabilidad de agregados.....	41
4.7.7.	Diámetro medio y diámetro medio ponderado.....	42
4.7.8.	Índice de Estabilidad de Agregados	43
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1.	Características químicas del suelo	48
5.1.1.	pH	48
5.1.2.	Contenido de materia orgánica.....	49
5.1.3.	Variabilidad del contenido de Materia Orgánica (MO) y pH en las comunidades.	50
5.1.4.	Correlación materia orgánica con pH y Mg.	52
5.1.5.	Disponibilidad de macronutrientes (N, P, K) en suelos de cada comunidad	53

5.2.	Características físicas del suelo	54
5.2.1.	La textura	54
5.2.2.	Densidad aparente del suelo	56
5.2.3.	Porosidad del suelo	57
5.2.1.	Correlación materia orgánica - calcio y densidad aparente – porosidad.....	58
5.2.2.	Variabilidad de densidad aparente y la porosidad del suelo en cada comunidad	59
5.2.3.	Estructura del suelo	60
5.3.	Distribución de agregados	62
5.3.1.	Distribución de agregados mayor a 2 mm.....	62
5.3.2.	Distribución de agregados de 2 mm.....	63
5.3.3.	Distribución de agregados de 1 mm.....	64
5.3.4.	Distribución de agregados de 0.6 mm.....	66
5.3.1.	Correlación agregados de 2 mm con agregados de 1mm-0.6mm	68
5.3.2.	Correlación agregados de 1 mm – agregados de 0.6mm.....	69
5.4.	Estabilidad de agregados del suelo al contacto con el agua.....	70
5.4.1.	Variabilidad del diámetro medio ponderado.....	72
5.5.	Análisis de componentes principales.....	73
VI.	CONCLUSIONES.....	76
VII.	RECOMENDACIONES	78
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	79

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Relación de materia orgánica en el suelo	19
Tabla 2. Clasificación de los tamaños de las partículas del suelo.	20
Tabla 3. Relación general entre densidad del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.....	22
Tabla 4. Clasificación de los tamaños de poros del suelo.	23
Tabla 5. Formas de estructura del suelo	24
Tabla 6. Datos de mediciones de las características química del suelo bajo diferentes usos en la microcuenca del Río Talgua	46
Tabla 7. Datos de mediciones de las características Físicas del suelo bajo diferentes usos en la microcuenca del Río Talgua	47
Tabla 8. Texturas de los suelos de la microcuenca del Río Talgua.....	55
Tabla 9. Estructura del suelo en los diferentes tipos de cobertura	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Factores bióticos y abióticos que interactúan e influyen en la formación y estabilidad de agregados en el suelo.....	11
Figura 2. Valores del pH del suelo	14
Figura 3. Ciclo de vida de un macroagregados. Se demuestra la formación de microagregados al interior de macroagregados (Martines, 2018).	18
Figura 4. Determinación de la textura del suelo.....	21
Figura 5. Ubicación geográfica de la cuenca del Rio Talgua.....	27
Figura 6. Socialización del proyecto de investigación en la comunidad de Flor del Café.....	29
Figura 7. Representación del número de muestras extraídas.....	31
Figura 8. Secado (A) y almacenamiento de las muestras de suelo (B).	33
Figura 9. Determinación del pH del suelo a nivel de laboratorio (A) y equipo HI 2211 pH/ORP meter de Hanna (B).	34
Figura 10. Elaboración de solución dispersante	36
Figura 11. Muestra de suelo con solución dispersante (A), y batidora eléctrica para la separación física de la muestra de suelos (B)	37
Figura 12. Introducción de muestra de suelos en cilindros de vidrio	37
Figura 13. Extracción de muestras de densidad aparente.....	39
Figura 14. Equipo RX-812 para la distribución de agregados en seco.....	40
Figura 15. Prueba de estabilidad de agregados por el método Yoder.	41
Figura 16. Promedios de pH de los suelos bajo diferentes tipos de cobertura.	48

Figura 17. Porcentaje de materia orgánica en los diferentes tipos de cobertura vegetal.....	49
Figura 18. Variabilidad del contenido de materia orgánica (a) y pH (b) en suelos de comunidades	51
Figura 19. Gráfico de correlación entre MO – pH (a) y MO- Mg (b).....	52
Figura 20. Variabilidad de macronutrientes en suelo N (a), P (b), K(c).	53
Figura 21. Densidad aparente de suelo en diferentes tipos de cobertura.....	56
Figura 22. Porosidad en los diferentes usos del suelo en cada comunidad	57
Figura 23. Gráfico de correlación entre MO. - Ca (a) y Densidad aparente – Porosidad (b).....	58
Figura 24. Densidad Aparente promedio y la porosidad de cada comunidad	60
Figura 25. Distribución de agregados mayor a 2 mm en cada uso de suelos y en comparación con cada comunidad.	62
Figura 26. Distribución de agregados de 2 mm por cada uso de suelos en cada comunidad.	63
Figura 27. Distribución de agregados de 1 mm por cada uso de suelos en cada comunidad.	64
Figura 28. Distribución de agregados de 2 mm y agregados de 1 mm en cada comunidad.....	65
Figura 29. Distribución de agregados de 0.6 mm por cada uso de suelos en cada comunidad.	66
Figura 30. Distribucion de agregados de 0.6 mm (a) y agregados de mayor a 2 mm (b).	67
Figura 31. Gráfica de correlación entre agregados de 2 mm con agregados de 1 mm (a) y 0.6mm(b).	68
Figura 32. Correlación entre agregados de 1 mm y de 0.6 mm.....	69
Figura 33. Promedio de estabilidad de cada uso de suelos y en cada comunidad.....	70
Figura 34. Diámetro medio ponderado en cada comunidad.....	72
Figura 35. Gráfico de sedimentación de valor Propio de componentes Principales en estudio de Estabilidad de agregados en el suelo.	74
Figura 36. Dispersión de componentes principales PC1 – PC2 por comunidad.	75

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta de antecedentes de las parcelas.....	84
Anexo 2. Resultados de análisis de fertilidad del suelo por la FHIA.....	85
Anexo 3. Tablas de análisis de componentes principales.....	86
Anexo 4. Valores de Componentes principales de propiedades Químicas.	86
Anexo 5. Selección de Componentes principales con valor propio mayor a 1.	86
Anexo 6. Diferencias en parcela sin cobertura vegetal (A) y con cobertura vegetal (B), en parcela de frijoles en la comunidad de Flor del Café.....	87
Anexo 7. Derrumbes en la comunidad de Flor del Café.	87
Anexo 8. Interpretación de resultados de análisis de la FHIA a los productores de cada comunidad.	88
Anexo 9. Cultivo de frijoles en comunidad de Buena Vista 1.	89
Anexo 10. Pruebas de salud del suelo, en los usos de suelo en Barbecho y Sin Cobertura vegetal en la comunidad de Flor del Café.....	89
Anexo 11. Preparación de muestras para pruebas de estabilidad con el Equipo Yoder.....	90
Anexo 12. Funcionamiento del Equipo Yoder.	90

Gonzales Diaz, Yader O. 2023. Estabilidad de agregados en suelos con diferentes usos en la microcuenca del Río Talgua, Catacamas, Olancho. Tesis Ing. Agr. UNAG. Catacamas Olancho. 104 p.

RESUMEN

El objetivo principal del estudio fue analizar la estabilidad del suelo en contextos ambientales y agrícolas. En este sentido, se busca evaluar cómo los diferentes tipos de cobertura vegetal afectan o ayudan a mantener la estabilidad del suelo cuando interactúan con el agua. Identificando los factores físicos o químicos que influyen en su formación y agregación.

La investigación se desarrolló en las comunidades de Flor del Café, Pinabetales y Buena Vista 1, que forman parte de la microcuenca del Río Talgua. Estas comunidades están ubicadas en la zona de amortiguamiento y se destacan por ser áreas productoras de frijoles.

Para evaluar la estabilidad del suelo se utilizó el equipo Yoder, en cual consiste en someter las muestras de suelo en movimientos de oscilación al estar en contacto con el agua. Para determinar, estabilidad del suelo se toman en consideración otras variables como la estructura, textura la cual fue determinada con el método de Bouyoucos, pH del suelo y el contenido de materia orgánica las cuales fueron evaluadas, en la fundación hondureña de investigación agrícola FHIA.

El análisis de estabilidad muestra que los suelos analizados, más estables se encuentran en Pinabetal, con niveles de estabilidad que varían del 60% al 67%. Por otro lado, la comunidad de Flor del Café tiene suelos con baja estabilidad, con valores que fluctúan entre el 30% y el 60%. En términos de distribución de agregados, se observó que alrededor del 65% de los tamaños de agregados en estos suelos eran mayores a 2 mm. La densidad aparente de estos suelos está entre 1,1 y 1,3 g/cm³. Cabe señalar que estos usos del suelo exhiben estructuras granulares de diferentes tamaños, en mejor uso de suelos es de Café.

Los suelos se ven considerablemente afectados por diversas malas prácticas agrícolas, tales como las quemadas, el uso de monocultivos y el deficiente manejo de las aguas pluviales. Esto se debe a la falta de aplicación de las normas de conservación de suelos que resultan en una baja estabilidad.

Palabras claves: Microcuenca, estabilidad física del suelo, productora hídrica, conservación.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está orientado en identificar los procesos de formación y segregación de los agregados en el suelo, en la microcuenca del río Talgua, en las comunidades de Pinabetal, Flor del café y Buena vista 1. Estos procesos de agregación y estabilidad de agregados en suelos de la ladera, afectan desde las zonas alta hasta las zonas bajas, las cuales presenta vulnerabilidad en los procesos de erosión ya sea de forma eólica o hídrica, considerando las características físicas del suelo, como la pendiente, textura, estructura, densidad aparente y porosidad, partiendo de la importancia de la cobertura vegetal del suelo, y los efectos de las gotas de agua.

Asimismo, brindar soluciones a las diversas problemáticas que atraviesa la microcuenca, en los procesos de agregación y formación de agregados, en suelos de ladera, como deslizamientos, derrumbes, erosión del suelo, baja producción, deficiencia de nutrientes en el suelo, malas prácticas agrícolas, drenajes indeficientes.

El objetivo de esta investigación es evaluar el impacto en el suelo según el tipo de cobertura vegetal en la formación y estabilización de agregados de suelos, al estar en contacto con el agua, los diferentes tipos de cobertura, como la siembra de maíz, frijoles, café, suelos sin cobertura vegetal y suelos en barbecho. Este trabajo ayuda a contrarrestar, estos efectos de degradación y ayuda a la formación de agregados en el suelo, con la implementación de prácticas de conservación de suelo de ladera, drenajes del suelo, de modo que reduzcan la pérdida del suelo. Con la implementación de estas técnicas de conservación se pretende concientizar a los productores en el manejo adecuado del suelo, asegurando así una mejor producción, manejo de los recursos naturales y contribuir a la seguridad alimentaria.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el impacto en el suelo según el tipo de cobertura vegetal en la formación y estabilización de agregados de suelos de la microcuenca del Río Talgua.

2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la distribución de agregados por tamaño bajo diferentes tipos de cobertura del suelo.
- Determinar la estabilidad al contacto con el agua de microagregados del suelo bajo diferentes tipos de cobertura.
- Determinar los factores físicos, químicos que intervienen en la formación y estabilidad de agregados del suelo.
- Identificar el tipo de uso de suelo que mejora la formación y la estabilidad de agregados.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El suelo

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La etapa sólida está compuesta por los componentes orgánicos e inorgánicos, que a través de distintos arreglos dan lugar a la estructura del suelo. La forma (tipo), tamaño (clase) y la resistencia (grado) constituyen parámetros para clasificar la estructura de los suelos. Estos arreglos también incluyen el espacio poroso dentro de los agregados y entre los agregados que, de acuerdo al diámetro de los mismos, cumplen la función de almacenar agua o de drenaje e intercambio gaseoso.

El suelo constituye, junto con el agua, el aire y la luz solar, el fundamento de la vida en los ecosistemas terrestres, alberga una gran diversidad de organismos y microorganismos. Por sus características físicas, químicas y mecánicas, el suelo posee propiedades de soporte para el desarrollo de actividades forestales, recreativas y agropecuarias, además de socioeconómicas como vivienda, industria y carreteras, entre otras (Sepulveda *et al.* 2005).

Los suelos en función a su tamaño de partícula, se presentan principales componentes: arcilla (tamaño de partícula menor a 0.002 mm), limo (0.002-0.05 mm), arena (0.05-2 mm) y grava (partículas mayores a 2 mm). Las cantidades relativas de cada tipo de partícula mineral determinan la textura de un suelo y tienen un impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Rueda, 2006).

3.2. Suelos de ladera en Honduras

Las laderas están compuestas de ambientes muy diversos que difieren por sus condiciones agroecológicas, socioeconómicas, necesidades y prioridades de las familias productoras. Características como el clima, tipo de suelo y acceso a tecnologías varían a nivel de región,

comarca o incluso en parcela. Desde el punto de vista técnico-científico, laderas con más del 50% de pendiente son de vocación forestal (IICA, 2012).

La ladera, se define en la geografía como una de las características de la morfología de la superficie terrestre o formas del relieve y es producto de los fenómenos del ciclo geográfico. La morfogenética se da por los procesos de erosión, transporte y sedimentación de materiales, dándole forma a la superficie de la tierra, la que evoluciona por procesos constructivos y destructivos permanentemente afectados por la fuerza de la gravedad y los procesos geomorfológicos que modelan constantemente la superficie de la tierra y que están determinados por factores geográficos, bióticos, geológicos y los antrópicos (Zeitun, 2011).

3.3. Los agregados del suelo

Los agregados del suelo son aquellos conjuntos tanto de partículas inorgánicas de origen natural como orgánicas, tales como (arenas, gravas o piedras, limos, arcillas y materiales orgánicos). Estos no se presentan aislados, sino que se encuentran unidos entre sí dando agregaciones. Por lo tanto, los agregados son observables a nivel macro morfológico, directamente en el perfil del suelo, en el campo y pueden ser analizados de una manera mucho más exhaustiva en el microscopio (San Fernando, 2013).

Los agregados del suelo se dividen en dos grandes grupos, de acuerdo con el tamaño (diámetro)

- ❑ **Microagregados** (menos de 250 μm): consiste de partículas primarias de suelo unidas a microagregados menores. Los agentes ligantes incluyen: materia orgánica humificada (polímeros orgánicos), metales o cationes polivalentes, raíces e hifas de hongos polisacáridos, restos de plantas y microbios (encostrados), óxidos amorfos de hierro y aluminio (Luters & Salazar, 2011).

- ☐ **Macroagregados** (>250 μm): consisten de microagregados unidos entre sí. Los agentes ligantes incluyen: hifas de hongos y raíces fibrosas polisacáridos.

3.4. Estabilidad de agregados en el suelo

Según (Najar *et al.* 2019), la estabilidad de los agregados (EA) es la capacidad del suelo para conservar el arreglo de su espacio sólido y poroso cuando se expone a procesos de deterioro, y se considera como un buen indicador de sostenibilidad del suelo, la infiltración del agua, la aireación del suelo la actividad biológica, el secuestro o emisión de C y la erosión del suelo. La estabilidad de agregados para la producción agropecuaria.

La estructura y su estabilidad se relacionan con el crecimiento y desarrollo de los cultivos, ya que influye indirectamente en propiedades tales como: infiltración, compactación, resistencia a la erosión, movimiento de agua y de aire. Los suelos naturalmente varían en la proporción en que son vulnerables a fuerzas destructivas externas. La estabilidad de los agregados es una medida de esa vulnerabilidad, más específicamente expresa la resistencia de los agregados a la ruptura, cuando son sometidos a procesos perturbadores potenciales (Najar *et al.*, 2019).

Los agregados mejoran la calidad del suelo:

- Protegiendo la materia orgánica, atrapada en los agregados, de la exposición al aire y a la descomposición microbiana.
- Haciendo decrecer la erodabilidad del suelo.
- Mejorando el movimiento del agua y del aire (los agregados incrementan la cantidad de espacio de poros grandes), el ambiente físico para el desarrollo radicular, mejorando el hábitat de los organismos del suelo.

3.4.1. Factores de formación de agregados del suelo

Las propiedades del suelo que participan en formación del suelo son la textura (contenido de arcilla), mineralogía arcillosa, cementantes inorgánicos (carbono de calcio, sesquióxido de hierro y aluminio), iones intercambiables, actividad microbiana (micorrizas) y raíces. La contribución mayor o menor de cada uno de estos factores depende de las condiciones del medio físico que se encuentren dentro del ecosistema (Castillo, Serrano, & Novak, 2007).

3.4.2. Clasificación de la estructura de suelos agregados

Según Jaramillo (2002) las estructuras de los agregados se pueden clasificar como:

- Débil: los agregados son apenas observables en el sitio y solo hay un arreglo débil de las superficies naturales. Cuando el suelo está poco disturbado, el material de suelo se rompe en una mezcla de agregados completos, muchos agregados rotos y muchos materiales sin caras agregadas. La cara superficial de los agregados difiere de alguna manera del interior del agregado.
- Moderado: los agregados son observables en sitio y hay un arreglo distinto de las superficies naturales. Cuando está disturbado, el material del suelo se rompe en una mezcla de muchos agregados completos, algunos agregados rotos y poco material sin caras agregadas. La cara superficial de los agregados muestra generalmente diferencias distintas con los interiores de los agregados.
- Fuerte: los agregados son claramente observables en sitio y hay un arreglo prominente de las superficies naturales de debilidad. Cuando está disturbado, el material del suelo se separa principalmente en agregados completos. La superficie de los agregados difiere generalmente de manera marcada de los interiores de los agregados.

3.4.3. La degradación del suelo

Es la pérdida de su productividad y utilidad actual o potencial, que implica el desmejoramiento del suelo en su capacidad inherente para producir bienes y servicios para realizar sus funciones de regulación ambiental. Particularmente, las dos funciones del suelo que actúan de forma directa en el bienestar de la humanidad son la productividad agrícola y la capacidad de regular el medio ambiente, estas dependen de la calidad del suelo y de sus propiedades (Salazar & Quintero, 2020).

3.4.4. La degradación del suelo y sus efectos sobre la población

La degradación del suelo afecta la calidad de vida de todo ser humano. El suelo es uno de los recursos naturales más valiosos de un país, calificado con acierto como “el puente entre lo inanimado y lo vivo”. Se compone de material rocoso meteorizado y descompuesto, agua, aire, materia orgánica formada de la descomposición vegetal y animal, y miles de formas diferentes de vida, principalmente microorganismos e insectos (Encina, 2008).

3.4.5. La cobertura vegetal

La cobertura vegetal es una práctica importante en el manejo agronómico de cualquier cultivo. Esta práctica permite al agricultor proteger el suelo, así como conseguir un aporte de nutrientes al mismo. En cultivos anuales el terreno se trata de mantener cubierto a lo largo de todo el año, bien por cultivos (comerciales o implantados con la única finalidad de mantener el suelo cubierto), bien con los restos de la cosecha del año anterior, que se dejan esparcidos sobre el suelo (Climagri, 2014).

3.4.6. Importancia de la cobertura vegetal

Según FAO (2022), los cultivos de cobertura se utilizan principalmente por sus efectos sobre la fertilidad del suelo o como forraje para el ganado. En regiones en las que se producen cantidades menores de biomasa, como las regiones semiáridas o las zonas con suelos erosionados y degradados, los cultivos de cobertura son beneficiosos porque:

- Protegen el suelo durante los períodos de barbecho.
- Movilizan y reciclan los nutrientes.
- Mejoran la estructura del suelo y rompen las capas compactadas del mismo.
- Permiten una rotación en un sistema de monocultivo.
- Pueden usarse para controlar malezas y plagas.
- Sirve como retenedor de humedad.

Según Rueda (2006), la cubierta viva o inerte aporta una gran capacidad protectora sobre el suelo, al actuar como una capa de revestimiento que evita que las gotas de lluvia impactan directamente contra la superficie desnuda del mismo. Al frenar el impacto, se evita la erosión física que éste provoca y, por tanto, se previene la pérdida de suelo, uno de los problemas más acuciantes de la agricultura en ambientes tropicales.

Por otra parte, la cobertura del suelo supone una barrera física para la escorrentía en zonas con pendiente. De esta forma, se evita la pérdida de suelo originada por la erosión que ocasionaría el agua que corre en superficie, cuya acción provoca regueros y cárcavas. La presencia de cobertura sobre la superficie del suelo supone también una pantalla ante la incidencia directa de los rayos del sol, reduciendo la insolación sobre el mismo.

3.4.7. Cultivos de cobertura

Dependiendo de las opciones de uso y las características de cultivos de cobertura, se diferencian tres categorías principales: gramíneas, leguminosas y no leguminosas de hoja ancha. En la mayoría de los casos, los cultivos de cobertura cumplen con varias funciones a la vez, como la prevención de la erosión, la mejora de la calidad del suelo o el pastoreo, entre otras.

3.4.8. Las gramíneas

Los cultivos de cobertura de gramíneas de uso común incluyen los cereales anuales (centeno, trigo, cebada, avena), las gramíneas forrajeras anuales o perennes y las gramíneas de temporada cálida,

como la hierba de sorgo-sudán. Los cultivos de cobertura no herbáceos, que son principalmente especies de pastos, son muy útiles para eliminar nutrientes, especialmente N, sobrantes de un cultivo anterior. Tienden a tener sistemas radiculares extensos, y algunos se establecen rápidamente y pueden reducir en gran medida la erosión (Dubitinsider 2021).

3.4.9. Las leguminosas

Una de las familias más utilizadas en los cultivos de cobertura son las leguminosas. Esta familia de plantas presenta una ventaja muy interesante desde el punto de vista agrícola. En sus raíces, tienen nódulos simbióticos poblados de bacterias del género *Rhizobium*, que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y dejarlo disponible para las plantas. Esta característica las hace protagonistas en la mayoría de cultivos de cobertura, ya que, aparte de mantener el suelo cubierto y poder incorporar la biomasa aérea en él.

3.4.10. La erosión del suelo

La erosión es el movimiento de sus componentes, especialmente del suelo superficial de un lugar a otro. Las principales causas de ésta son: el viento y la lluvia, esta es la que causa mayor erosión; pero existen otras actividades como la agricultura, la tala forestal, la construcción, que aceleran la erosión de los suelos. La capa superficial del suelo se clasifica como un recurso altamente renovable, debido a que se regenera de manera continua por procesos naturales. Las tasas de erosión anuales para terrenos agrícolas en todo el mundo son de 20 a 100 veces la tasa de renovación natural. La erosión es más severa en tierras de cultivos y en lugares donde se efectúan construcciones (Morra, A, & Bisaro, 2005).

3.4.11. Efectos de la erosión del suelo de ladera

Todos los suelos sufren erosión, pero algunos son más vulnerables que otros, debido a las actividades humanas y otros factores naturales causales. La gravedad de la erosión del suelo también depende del tipo de suelo y de la presencia de la cubierta vegetal (Planeta-tierra 2022).

- Contaminación del agua y obstrucción de vías fluviales.
- Pérdida de tierras cultivables.
- Contaminación del aire.
- Destrucción de la infraestructura.
- Desertificación.

3.4.12. Susceptibilidad de los suelos de ladera

La susceptibilidad vulnerabilidad de los suelos a la erosión se producen por factores ambientales (pendiente, material geológico, clima, vegetación) o por el hombre (deforestación, agricultura migratoria, ganadería, etc.). Según la zona ecológica y fisiográfica donde se desarrolla la degradación del suelo puede ser debido a dos factores, por el hombre (factores antrópicos) o causa natural (naturales) (FAO, 2018).

Factores antrópicos

- Deforestación: facilita la erosión por la pérdida de la cubierta vegetal.
- Pastoreo excesivo: afecta tanto por eliminación de la cubierta vegetal, como por la pérdida de estructura del suelo debido a la compactación por el pisoteo, que impide la aireación del suelo y disminuye su porosidad.
- Prácticas agrícolas inadecuadas: contaminación (plaguicidas y herbicidas), quema de rastrojos que elimina el aporte de materia orgánica, la roturación a favor de pendiente que favorece la erosión, el exceso de fertilizantes en climas cálidos que asciende por capilaridad formando costras salinas en la superficie del suelo.
- Minería y canteras a cielo abierto: producen desmontes facilitando la erosión al igual que las grandes obras de infraestructura, además en muchos casos la minería suele contaminar el suelo con metales pesados.
- Roturación de terrenos marginales: en terrenos fácilmente erosionables como aquellos de pendientes acusadas (elevadas) o de climas áridos, la roturación del terreno con el tractor facilita enormemente la erosión.

Factores naturales

- Climáticos: los factores climáticos más importantes en la degradación del suelo son las precipitaciones y el viento, ya que son los que producen la erosión, no solo es importante la cantidad de precipitación que cae en una zona, sino también su distribución temporal.
- Topografía: en terrenos con pendiente la erosión es mucho mayor. La orientación hacia el norte tiene más humedad y más vegetación que protege de la erosión.
- Cobertura vegetal: cuanto más vegetación menos erosión, porque la vegetación frena el avance del agua en las pendientes y amortigua el golpeteo de las gotas de lluvia, además la vegetación ejerce una pantalla contra el viento.

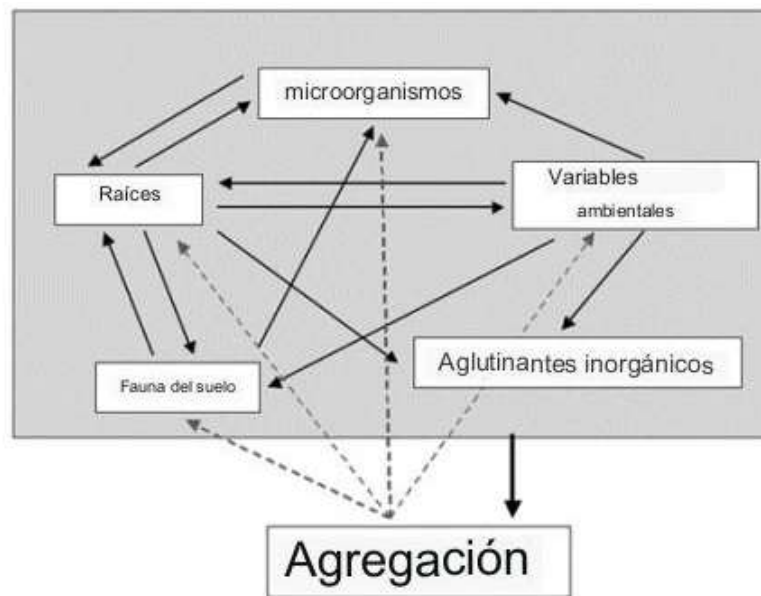


Figura 1. Factores bióticos y abióticos que interactúan e influyen en la formación y estabilidad de agregados en el suelo.

Fuentes: (Martines, 2018)

3.4.13. Métodos para cuantificar estabilidad de los agregados

El método más comúnmente usado para medir la estabilidad de los agregados es el tamizado en húmedo. Otros métodos están basados en la simulación del impacto de las gotas de lluvia,

dispersión ultrasónica, rompimiento de los agregados por inmersión en agua, o el tamizado en seco (Lobo L. y Pulido M. 2011).

Vía húmeda

- Test de Emerson

El test de Emerson consiste en anotar el estado del agregado sumergido en el agua destilada a distintos intervalos de tiempo, en el test modificado se realiza la evaluación del estado del agregado inmediatamente después de sumergirlo y a los 5 minutos, 2 horas y 20 horas (Luters & Salazar, 2011).

- **El test TDI (Ten Drop Impacts)**

Consiste en someter a un agregado al impacto de 10 gotas, y contabilizar la proporción de la muestra dispersada (Castillo, Serrano, & Novak, 2007).

- **Método Yoder**

El método yoder consiste en un conjunto de tamices sometidos a oscilación vertical en el agua, los cuales ejercen un movimiento vertical, impulsada por un motor eléctrico, los agregados del suelo se rompen y pasan a un tamiz de menor tamaño de diámetro, cuando mayor sea la estabilidad de los agregados, mayor será la cantidad de agregados retenidos en los tamices, y cuando menor sea la estabilidad de los agregados se romperán con facilidad y quedarán retenidos en los tamices de menor tamaño (Tecnal, 2019)

Vía seca

- **Test por ultrasonidos (UD, Ultrasonic Dispersión)**

La prueba se realiza sumergiendo la sonda de los ultrasonidos a 10 mm de profundidad en una columna de agua de 40 mm de profundidad (40 ml de volumen), y en la que los agregados se encuentran en el fondo del recipiente. Posteriormente, se contabilizan los agregados no dispersados y la proporción de la muestra dispersada-agregada (Cerd, 2014).

- **Agitador de tamiz RX-812**

El agitador de tamices RX-812 se utiliza para el tamizado de pruebas gruesas, está diseñado para ser utilizado en aplicaciones de capas de usar cribas de prueba de 8" y 12" de diámetro usando los controles. Mantiene solo movimientos oscilantes, y las oscilaciones por minuto son de 280 (60Hz); 231 (50 Hz). No se recomienda para el análisis de partículas de 150 micras (malla 100 y más fino) y más pequeño (FAO 2018).

3.5.Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo se refieren a las características químicas y composición del suelo, que incluyen aspectos como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la disponibilidad de nutrientes y la presencia de sustancias tóxicas. Estas propiedades influyen en la capacidad del suelo para retener nutrientes, regular el pH y mantener un entorno adecuado para el crecimiento de las plantas (Solorio, 2019).

3.5.1. pH del suelo

El pH del suelo es una medida de la acidez o de la alcalinidad de un suelo. En la escala de pH, 7.0 es neutro. Menor a 7.0 es ácido, y por encima de 7.0 es básico o alcalino. El intervalo de pH de 6.8 a 7.2 se denomina como casi neutro. Aquellas zonas del mundo con escasas precipitaciones pluviales suelen tener suelos alcalinos mientras que las áreas con mayores precipitaciones suelen tener suelos ácidos (Raudes & Sagastume, 2009).

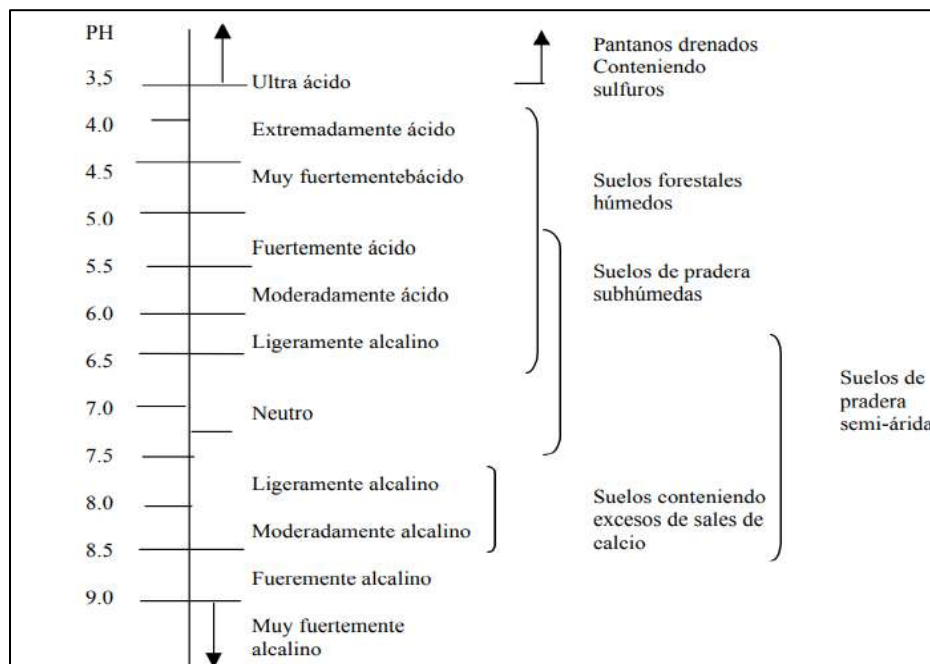


Figura 2. Valores del pH del suelo

Fuente: Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo (Luters & Salazar, 2011).

3.5.2. Materia orgánica

La transformación que sufren los restos vegetales y animales en el suelo se realiza bajo la acción de distintos grupos de microorganismos, así como de diversos representantes de la microfauna edáfica (ácaros, insectos, lombrices, etc.). Estas desintegraciones mecánicas, oxidaciones, hidrólisis, etc., pueden ocurrir bajo acción directa de las precipitaciones atmosféricas o de la reacción ácida o básica del suelo, del viento, de los cambios de temperatura, etc. La variedad de

sustancias orgánicas existentes en el suelo, puede ser restos orgánicos frescos y sustancias húmicas (Morra, A, & Bisaro, 2005).

3.5.2.1. Flora en materia orgánica

De acuerdo a su especie y función, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Plantas

Interactúan en el suelo por medio de sus raíces y desechos; producen cambios químicos, generan ácidos, absorben nutrientes, rompen el suelo.

Hongos

Existen tres tipos; setas, mohos y levaduras. Son una población pequeña y muy afectada por las condiciones del suelo; son heterotróficos (obtienen energía y carbono de compuestos orgánicos). Son importantes debido a que:

- Ayudan a la formación de agregados de suelo por sus micelios.
- Ayudan a la absorción de nutrientes (asociación raíz-hongo: micorriza).
- Son muy efectivos en la descomposición de la materia orgánica.

Existen tres tipos; bacilos que tienen forma de bastón, coccus que son de forma redonda, espirales en forma de espiral; en condiciones normales, son el grupo más abundante en el suelo y pueden ser autotróficos o heterotróficos, y se pueden relacionar con otros organismos de todas las formas posibles, como parásitos, saprofitos, simbióticos. Su importancia en los suelos se debe a:

- Descomponen la materia orgánica.
- Son controladores de las reacciones químicas del suelo.

Algunos tipos fijan nitrógeno (Rhizobium haciendo simbiosis con leguminosas, Azotobacter a simbióticamente en la capa arable del suelo).

3.5.2.2. Fauna en materia orgánica

Sus funciones son: translocación y mezcla de materia orgánica y suelo mineral, fragmentación de la materia vegetal, mejora de la aireación e infiltración del suelo, control de las poblaciones de organismos más pequeños. Existen dos tipos:

- **Macroorganismos:** los que se alimentan de plantas o residuos vegetales, (ej., ardillas, ratones, algunos insectos, lombrices. Depredadores: topes, hormigas, arañas.
- **Microorganismos:** depredadores, parásitos, saprófitos, (ej., protozoos, rotíferos, nematodos).

3.5.3. Importancia de la materia orgánica

La materia orgánica es el componente principal que determina la calidad y productividad del suelo. La fertilidad, la disponibilidad de agua, la susceptibilidad a la erosión, la compactación e incluso la resistencia de las plantas a los insectos y las enfermedades, dependen en gran medida de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica del suelo (MOS) y, específicamente, el carbono orgánico del suelo (COS) juegan un papel relevante en el mantenimiento y la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Docampo, 2014).

La materia orgánica del suelo ayuda a:

- Almacenar y suministrar los nutrientes para las plantas (macro y micronutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y aniónico y estabiliza la acidez del suelo).
- Estabiliza y mantiene las partículas del suelo en forma de agregados.

- Ayuda a minimizar la compactación del suelo, favorece la infiltración de agua y reduce el escurrimiento.
- Facilita el crecimiento de los cultivos mediante la mejora de la capacidad del suelo para almacenar agua. Mejora la dinámica del agua y del aire en el suelo mediante el incremento de la porosidad, la capacidad de retención de agua y la resistencia a la sequía.
- Aumenta la friabilidad del suelo que lo hace más fácil de trabajar y permite que las raíces de las plantas puedan penetrar mejor en el perfil y con menor gasto de energía.
- Es la fuente de carbono y energía para los microorganismos del suelo que reciclan los nutrientes.
- Reduce los efectos ambientales negativos de los agroquímicos, metales pesados y otros contaminantes.

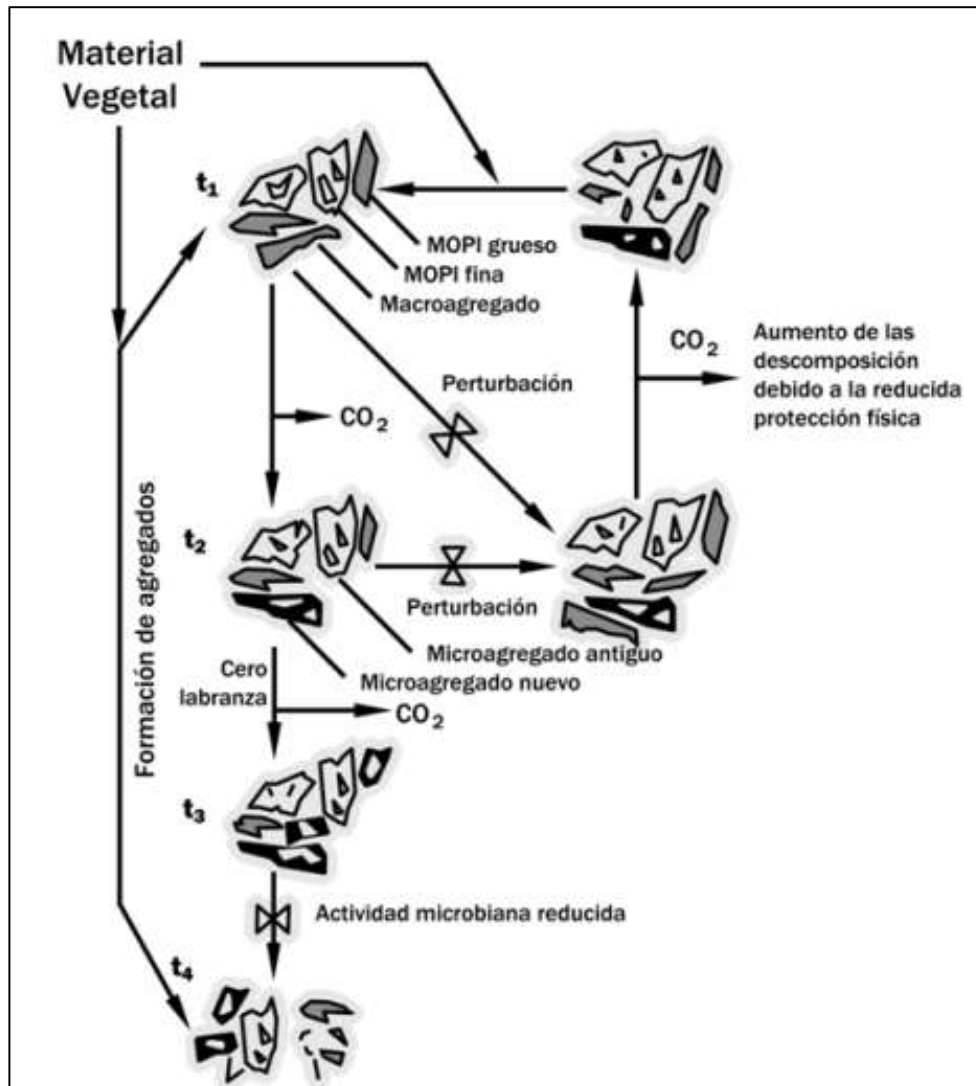


Figura 3. Ciclo de vida de un macroagregados. Se demuestra la formación de microagregados al interior de macroagregados (Martines, 2018).

3.5.4. El humus

El humus es materia orgánica en estado avanzado de descomposición, de consistencia masiva amorfa, homogénea y color oscuro. La materia orgánica es necesaria para mantener los nutrientes disponibles para las plantas. Un suelo típico cultivado contiene alrededor de 5% de materia orgánica; a pesar de este bajo porcentaje, la influencia que ejerce en el suelo se ve reflejada en la productividad del mismo. En la tabla 5 se representa como se clasifican la materia orgánica y su velocidad en reacción al suelo (Raudes & Sagastume, 2009).

Tabla 1. Relación de materia orgánica en el suelo

Tipo	Clasificación		Velocidad de reacción el suelo
A	>5	Excelente	Rápida y mucha reacción
B	4-5	Muy buena	Mucha reacción, pero más lenta
C	3-4	Buena	Reacción intermedia y lenta
D	3-2	Regular	Poca y reacción lenta
E	<5	Mala	No hay reacción

Fuente: Manual Conservación de Suelos (Raudes & Sagastume, 2009).

El suelo al ser un sistema complejo y dinámico en el que ocurren una amplia variedad de procesos biológicos, químicos y físicos, estos procesos se ven sujetos a agentes ligantes orgánicos, que han sido clasificados en transitorios, temporales y persistentes, dependiendo de su longevidad.

- Los transitorios: incluyen algunos exudados microbianos y radicales de polisacáridos y mucopolisacáridos cuyo efecto dura sólo unas pocas semanas.
- Los temporales: se asocian principalmente con raíces e hifas fúngicas que duran solo unos pocos meses; y los persistentes incluyen compuestos orgánicos aromático, ligados por cationes metálicos polivalentes a las superficies de arcilla y a otros polímeros fuertemente adsorbidos. Entre los hongos filamentosos, que se multiplican en la materia orgánica degradable del suelo, hay especies cuyos micelios ligan arcilla o partículas del suelo a su superficie y pueden estabilizar las superficies de los poros del suelo sobre los que crecen (Fruticula, 2017).

3.6. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina la rigidez y la fuerza

de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (FAO, 2023).

3.6.1. Textura del suelo

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. (Tabla 1) La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. La textura del suelo puede clasificarse de fina a gruesa, la textura fina indica una elevada proporción de partículas más finas como el limo y la arcilla. La textura gruesa indica una elevada proporción de arena (FAO 2022). (Figura 2)

Tabla 2. Clasificación de los tamaños de las partículas del suelo.

Separado	Rango de diámetro de partícula (mm)		
	USDA	ISSS	DIN Y BSI
Arena	2-0.05	2-0.02	2-0.08
Limo	0.05-0.002	0.02-0.002	0.08-0.002
Arcilla	< 0.002	< 0.002	< 0.002

Fuente: Caracterización física y química de suelos (Dubon, 2014)

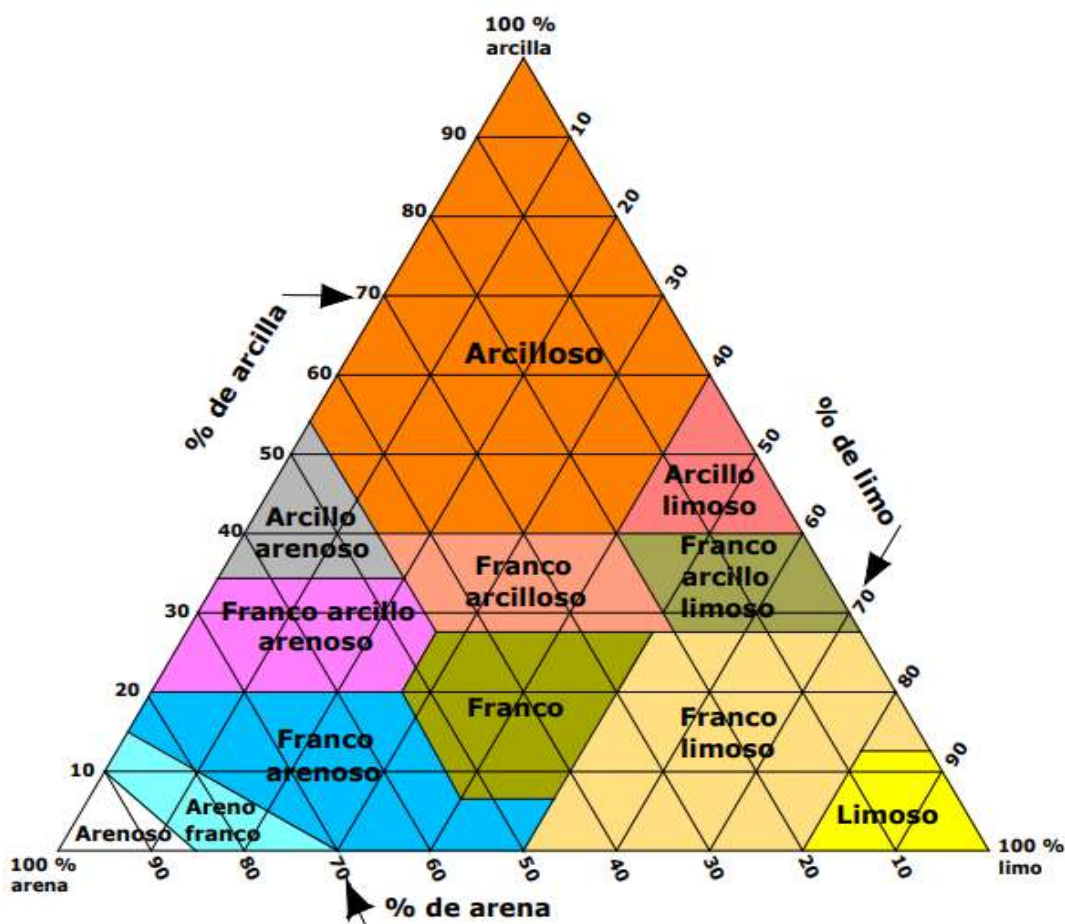


Figura 4. Determinación de la textura del suelo.

Fuente: (Ciancaglini, 2009).

3.6.2. Densidad aparente

Según Rojas & Peña, (2012), la densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen, describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. Si se considera cierto volumen de suelo en sus condiciones naturales, es evidente que solo cierta proporción de dicho volumen está ocupada por el material del suelo. En la tabla 3 se representa la relación entre la densidad aparente del suelo con un crecimiento radicular y la textura.

Tabla 3. Relación general entre densidad del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidad Aparente (g/cm ³)	Ideal que puede afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidad aparente que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno-franco	< 1.60	1.69	> 1.80
Franco-arenoso, 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, algunas franco- arcillosas (35-45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.58
Arcillosa (>45 % de arcillas)	< 1.10	1.39	> 1.47

Fuente: Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (Luters & Salazar, 2011).

3.6.3. Porosidad del suelo

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos, 45% minerales y 5% materia orgánica y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos, donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO 2022).

De acuerdo con Flores Delgadillo (2010) la porosidad del suelo puede clasificarse como se presenta en la tabla 2.

Tabla 4. Clasificación de los tamaños de poros del suelo.

Porosidad total (%)	Clasificación
> 60	Porosidad Muy Alta
50-60	Porosidad Alta
40-50	Porosidad Media
30-40	Porosidad baja
< 30	Porosidad Muy baja

Fuente: Manual de procedimientos analíticos de laboratorio de suelo (Delgadillo & Martinez, 2010).

3.6.4. Estructura del suelo

La estructura se refiere a la agregación de partículas individuales del suelo para generar unidades de mayor tamaño, conocidas como agregados o terrones, y que son el resultado de procesos patogenéticos, la descripción de la estructura del suelo se realiza a través de tres propiedades: forma, tamaño y grado (Solorio, 2019).

- **Forma:** conviene indicar que no todos los suelos presentan estructura, los suelos sin estructura se les denomina apedales y los que la presentan pedales.
- **Tamaño:** los tamaños de las diferentes formas de estructura se reportan en la tabla (5).
- **Grado:** el grado describe la diferenciación de las unidades estructurales y utiliza como criterio la facilidad de separación de unidades discretas y la proporción de unidades que se mantienen unidas cuando el suelo es manipulado. Se emplean tres categorías: débil, moderada y fuerte.

Tabla 5. Formas de estructura del suelo.

Categoría	forma	Descripción	Anotación
Sin estructura (apedales)	Granular simple	Partículas de suelo que actúan de forma independiente	Típica de suelos con altos contenidos de arena.
	Masiva	Partículas de suelo adheridas que no se rompen en unidades estructurales	Estructura de suelos encharcados, es decir, suelos que han perdido su estructura.
Con estructura (pedales)	Laminar	Agregados delgados parecidos a un conjunto de placas.	
	Prismática	Grandes como columnas, lados planos a redondeados, la parte superior es plana y puede no ser distintiva.	
	Columnar	Grandes como columnas, como la prismática, excepto porque su parte superior esta redondeada y es distintiva.	
	Bloques	Irregulares con agregados de seis lados.	Bloques angulares con bordes agudos y bloques subangulares con bordes redondeados.
	Esferoidal	Agregados pequeños redondeados.	Comunes en la capa arable; granula (porosa) y migajosa (muy porosa).

Fuente: (Solorio, 2019)

3.7. Pendiente del suelo de la microcuenca del Río Talgua

Estos son suelos bien drenados, formados sobre calizas o mármol, son frecuentes los afloramientos rocosos y los precipicios, y están ubicados en relieves escarpados con pendientes mayores al 60%. En general, estos suelos son de vocación forestal caracterizados por su fuerte pendiente y baja profundidad. En la parte media-baja, se ha eliminado la cobertura vegetal para la ganadería y establecer cultivos agrícolas de subsistencia; en la parte alta, los suelos están cubiertos de bosque latifoliado con áreas de frontera agrícola que han sido intervenidas para establecer fincas de café (Sandoval, 2021).

3.8. Técnicas en la implementación para la conservación de suelos de ladera

De acuerdo con FHIA (2011), existen muchas técnicas o prácticas de conservación de suelos que son sencillas, de relativo bajo costo, de fácil aplicación y de aceptación por los agricultores; entre ellas están:

- La siembra de plantas de coberturas y abonos verdes.
- El uso de estiércol y aboneras orgánicas.
- La labranza conservacionista o labranza mínima.
- Los sistemas agroforestales.
- La siembra en curvas a nivel o siembra al contorno.
- Las barreras vivas.
- Las barreras o muros de piedra.
- Las terrazas individuales.

3.8.1. Barreras vivas

Las barreras vivas son hileras de plantas sembradas a poca distancia, en curvas de nivel, con el objetivo de conservar el suelo y protegerlo de la erosión. Se pueden construir de: madero negro, leucaena, gandul, king grass, valeriana o vetiver, piña, caña de azúcar, zacate napier o taiwán, zacate limón, piñuela, entre otros. La distancia entre curvas depende de la pendiente y del tipo de suelo. Se combinan bien con otras técnicas como las acequias.

Las barreras vivas reducen la velocidad del agua porque divide la ladera en pendientes más cortas, y la velocidad del viento (rompeviento). Sirven también como filtro, captando sedimentos que van en el agua de escurrimiento. Para lograr este resultado se colocan rastrojos o el material de poda de los árboles al lado superior de la barrera. El buen manejo de la barrera viva da como resultado la formación paulatina de terrazas. (IICA, 2012).

3.8.2. Acequias o zanjas a nivel

Son canales que se construyen a nivel, en dirección transversal a la pendiente, para retener, conservar y ayudar a infiltrar el agua de lluvia que cae sobre las laderas. Por esta razón se recomiendan para zonas con baja precipitación lluviosa: trópico seco y subtrópico seco. Cada zanja requiere la siembra de barreras vivas en el borde superior de su estructura, para que el agua de escorrentía, el suelo erosionado y otros sedimentos arrastrados por la lluvia no la destruyan. Cuando sea necesario, al final de cada acequia se pueden abrir pozos para infiltración de los excedentes de agua. Para reducir costos y tiempo la acequia se construye con ayuda de tracción animal (bueyes o caballos). Se realizan al menos cuatro pasadas de arado para remover la tierra sobre una curva a nivel trazada previamente. Luego, con palas y azadones, se da forma a la acequia.

3.8.3. Formación de mini terrazas

Se forman en parcelas de ladera por la acción continua de una labranza mínima en los mismos surcos, siguiendo las curvas a nivel y dejando la tierra de los lados sin tocar. La labranza en surcos en parcelas de ladera consiste en roturar el suelo en las mismas fajas estrechas, año por año. Su función principal es reducir la erosión y aumentar la infiltración del agua de lluvia a las capas profundas del suelo. Se combina con la siembra al contorno. Para reducir o evitar la erosión se recomienda combinarla con otras obras de conservación de suelos: zanjas de infiltración con barreras vivas, especialmente en laderas con fuerte pendiente. El control de malezas es uno de los mayores esfuerzos que debe realizar el productor en esta obra. Se recomienda la siembra de cultivos de cobertura en asocio o en rotación con los cultivos de maíz o frijol. Las mini terrazas ayudan a mantener el nivel de materia orgánica y protegen la macrofauna en el suelo.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del sitio de investigación

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la microcuenca del río Talgua que forma parte de la cuenca del río Patuca en Honduras, el cual drena en el Mar Caribe (Figura 3). Se ubica geográficamente en el municipio de Catacamas, entre los 14°58' - 14°53' Latitud Norte y 85°49' - 85°57' Longitud Oeste; y abarca una superficie de 79.16 km² (Sandoval, 2021).

Esta investigación se ha realizado en las comunidades de Pinabetal, Flor del Café y Buena Vista 1, que fueron seleccionadas por ser parte de la zona de amortiguamiento y por el número de habitantes que residen en el área.

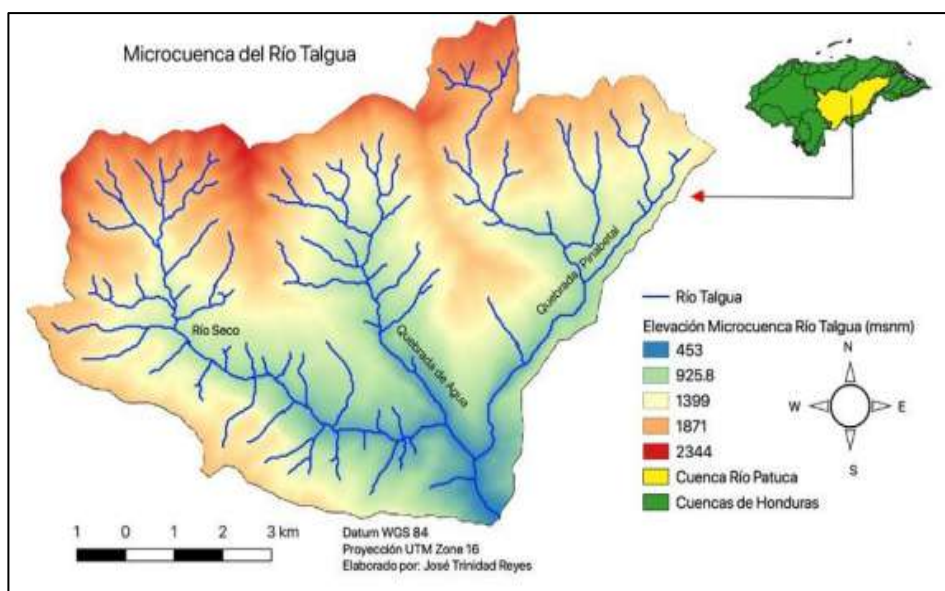


Figura 5. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Talgua.

Fuente: (Sandoval, 2021)

4.2. Materiales y equipo

Para llevar a cabo el trabajo de investigación fue necesario contar con herramientas para la extracción de muestras, bolsas plásticas, masking tape, marcador indeleble, libreta de campo. Para la realización de los análisis de laboratorio se utilizaron Beaker de diferentes tamaños, pipetas, piseta, rodillo, vasos de aluminio pequeños, agua destilada, reactivos como hexametafosfato de sodio, carbonato de sodio, alcohol etílico al 70%, buffer de 4.7, para el análisis de textura mediante el método de Bouyoucos el hidrómetro; para separación física de la textura se utilizó una batidora industrial; la determinación del pH se hizo con el equipo HI 2211 pH/ ORP meter Hanna; en la distribución de agregados se utilizó el equipo RX-812, agitador de tamices, con los diferentes tamaños de tamices de diámetro y horno industrial, para los análisis de estabilidad de agregados se empleó en equipo Yoder.

4.3. Metodología

La investigación consistió en evaluar la formación y estabilidad de los agregados del suelo, mediante muestreos en superficies bajo cultivos agrícolas, en tres comunidades pertenecientes a la microcuenca del río Talgua. La investigación se realizó en cultivos ya establecidos de maíz, frijoles y café que son de importancia económica para los miembros de la comunidad; también se extrajeron muestras de áreas sin cobertura vegetal (suelo desnudo), y suelos que están en barbecho en la microcuenca del río Talgua.

4.4. Reconocimiento del área y socialización con los integrantes de la comunidad

En esta etapa, con ayuda de los líderes de la comunidad se realizó un reconocimiento del sitio de investigación, se identificaron los intereses en la zona y se socializó con los integrantes de la comunidad el trabajo que se desarrolló en el área (Figura 6).



Figura 6. Socialización del proyecto de investigación en la comunidad de Flor del Café

4.4.1. Selección de parcelas de suelos

Para la selección de parcelas, en cada comunidad se tomó en cuenta el objetivo principal de la investigación, el muestreo, la representatividad de las muestras, accesibilidad y colaboración-autorización de los productores. Los parámetros que se evaluaron fueron los antecedentes, la producción, ubicación en el área y etapa fisiológica del cultivo, propiedades físicas y químicas, esto se hizo en cada comunidad, las parcelas que se evaluaron se subdividieron en tres zonas de la ladera (alta, media y baja), para así tener una mejor representación del área estudio.

4.4.2. Muestreo de suelo

La muestra constituye una mezcla de porciones de suelo (submuestras) tomadas con base en un patrón en terreno no homogéneo. El muestreo de suelo, es una actividad vital, debido a que la muestra debe representar correctamente el área, lo cual comprueba la información, la muestra de suelo representó las condiciones puntuales del terreno, en el tiempo que fue colectada. Se realizaron muestreos para los diferentes tipos de análisis, como ser:

- **Agregación y estabilidad de agregados** : para este análisis, el muestreo de la parcela se subdividió en tres zonas, alta, media y baja, a profundidades de 0-5 cm y de 5-10 cm, extrayendo 18 submuestras de cada escenario, para formar una muestra compuesta, siendo un total de seis (6) muestras compuestas por cada uso de suelo, 90 submuestras por cada comunidad y un total de 270 submuestras en la investigación, de las cuales se conformaron seis (6) muestras compuestas en cada escenario de suelo, dos (2) por cada zona y una (1) por cada profundidad, habiendo un total de treinta (30) muestras compuestas por cada comunidad y noventa (90) muestras en total para esta investigación.
- **Propiedades físicas y químicas del suelo:** para este muestreo se realizó en zigzag, a una profundidad de 0-10 cm, ya que interesa evaluar a nivel superficial las propiedades químicas como la disponibilidad de nutrientes y contenido de materia orgánica, la actividad microbiana, las propiedades físicas como la porosidad, estructura, textura y densidad aparente. El número de muestras que se extrajeron fue una muestra compuesta por cada escenario de suelo, habiendo un total de quince (15) muestras.

4.4.3. Muestras de suelo

Las 90 muestras de suelo que se utilizaron en la investigación, se tomaron de las comunidades de Pinabetales, Flor del Café y Buena Vista 1, que son parte de la microcuenca del río Talgua. En cada comunidad se seleccionaron cinco (5) usos de suelo, maíz, frijol, café, sin cobertura vegetal y barbecho. Se tomaron muestras a dos profundidades, de 0-5 cm y 5-10 cm, los usos de suelos se dividieron por zonas, (alta, media y baja), se extrajo una muestra por cada zona y una por cada profundidad, siendo así un total de seis (6) muestras por cada uso (Figura 7).

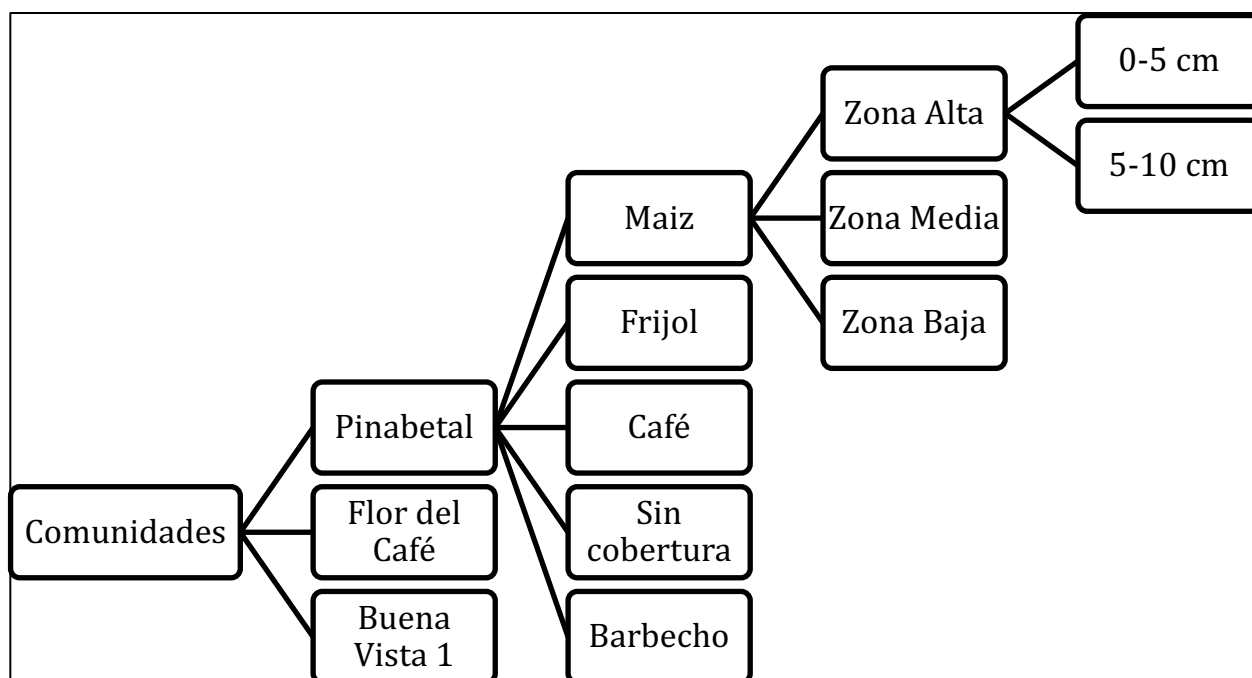


Figura 7. Representación del número de muestras extraídas.

4.4.3. Extracción de muestras

Para la extracción de las diferentes muestras, se emplearon dos tipos de muestreo: muestra indisturbada (no se altera su forma), este tipo de muestreo se utilizó para las pruebas de densidad aparente. La muestra disturbada se utilizó para las pruebas de textura, estructura, porosidad, estabilidad y distribución de agregados, pH, materia orgánica y de fertilidad de suelos.

4.4.4. Conservación y almacenamiento de la muestra de suelos

Para garantizar la conservación adecuada de las muestras después de su extracción en el campo, los suelos recolectados se colocaron en bolsas de plástico debidamente identificadas. Posteriormente, se almacenaron en el laboratorio en un área designada para su secado y preparación de muestras, con el objetivo de prevenir cualquier forma de alteración, transformación o contaminación. Este proceso de almacenamiento aseguró la integridad y la representatividad de las muestras para su posterior análisis y estudio.

4.5. Trabajo en laboratorio de suelos

El trabajo con las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional de Agricultura, donde se aplicaron métodos y protocolos específicos para cada análisis. En el laboratorio de la universidad se realizaron los análisis de distribución y estabilidad de agregados, textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, pH. En el Laboratorio de Suelos de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) se realizaron los estudios de fertilidad de suelos, materia orgánica, micronutrientes como hierro, manganeso, cobre y zinc; macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio; los análisis complementarios son para obtener una visión más completa de las propiedades y características del suelo. Esto permitirá una evaluación íntegra y confiable de las muestras, respaldando así los resultados y conclusiones de la investigación.

4.5.1. El Secado

En el secado al aire libre, la muestra de suelo se expuso a la temperatura ambiente, permitiendo que la humedad se evapore de manera gradual. Para facilitar este proceso se llevó a cabo una trituration suave de la muestra y se extendió una capa de grosor no superior a 15 mm, sobre papel absorbente, asegurando que la humedad se absorba de manera eficiente. Es importante destacar que el recipiente utilizado para contener la muestra debe estar limpio y libre de cualquier factor que pueda generar contaminación en la muestra; para acelerar el proceso de secado, reduciendo su tamaño. Esto contribuye a aumentar la superficie de exposición al aire y promover una mayor evaporación de la humedad, el secado de las muestras (Figura 8).



Figura 8. Secado (A) y almacenamiento de las muestras de suelo (B).

4.6. Análisis de las características químicas del suelo.

Reactivos

- Para determinación del pH se utilizaron soluciones buffer con pH 4 y 7 y agua destilada.
- Para determinación de textura se utilizó: solución dispersante la cual se formuló con 35.7 g de hexametafosfato de sodio y se disolvió en 500 ml de agua destilada; también 7.9 g de carbonato de sodio y disuelto en 250 ml de agua destilada. Se mezclaron ambas soluciones y se llevó a volumen de un litro con agua destilada y alcohol metílico (Figura 11).

4.6.1. Determinación de pH del suelo.

Para llevar a cabo la determinación del pH de cada muestra de suelo, se empleó el equipo HI 2211 pH/ORP meter de Hanna. Se utilizó una proporción de suelo y agua destilada de 1:2.5, es decir, se agregaron 10 g de suelo a 25 ml de agua destilada. Previo a la medición, se calibró el equipo utilizando un buffer de pH 4 y 7. Es importante destacar que las mediciones se realizaron a una temperatura controlada de 21 °C, la cual fue mantenida en el laboratorio para asegurar condiciones estandarizadas. Este enfoque permitió obtener resultados precisos y comparables entre las muestras analizadas.

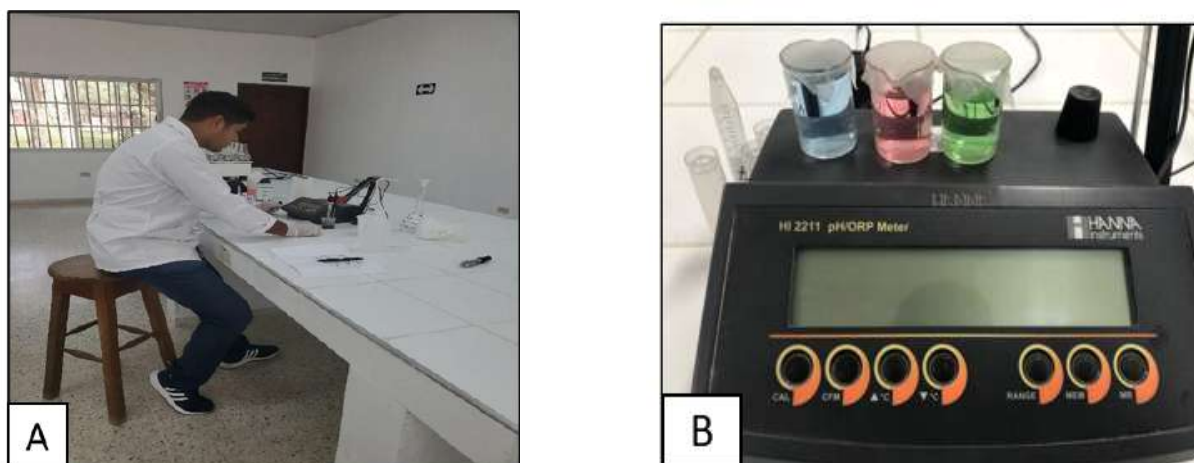


Figura 9. Determinación del pH del suelo a nivel de laboratorio (A) y equipo HI 2211 pH/ORP meter de Hanna (B).

4.6.2. Determinación de la materia orgánica (MO)

Para llevar a cabo la determinación de la materia orgánica del suelo, se enviaron las muestras para ser analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Se utilizó el método de Walkley-Black, el cual implica la oxidación del suelo con una solución estandarizada de dicromato de potasio 1N. El calor necesario para esta reacción se generó mediante la dilución de ácido sulfúrico concentrado en la solución crómica. La cantidad de dicromato que no fue reducido por la materia orgánica se determinó mediante una valoración por retroceso. Esta determinación se llevó a cabo utilizando una titulación con sulfato ferroso y ferroína como indicador. Este método permite obtener una estimación precisa de la cantidad de materia orgánica presente en las muestras de suelo analizadas.

4.6.3. Macro y micronutrientes

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) para la determinación de los macronutrientes y micronutrientes. Para los nutrientes como el potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), se utilizó el método de extracción con acetato de amonio a un pH de 4.8, y la cuantificación se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA). En el caso del fósforo (P), se utilizó el método

de colorimetría. En cuanto a los micronutrientes como el hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn), se realizaron extracciones con DTPA a un pH de 7.3, y su determinación se llevó a cabo mediante espectrofotometría de absorción atómica. Estos métodos permiten obtener información precisa sobre la concentración de nutrientes, tanto macro como micronutrientes en las muestras de suelo analizadas.

4.7. Análisis de las características físicas del suelo

4.7.1. Determinación de la textura

La determinación de textura del suelo se realizó con la metodología de Bouyoucos. A cada muestra, se realizó la metodología explicada en la determinación de textura y para encontrar el resultado se requirieron las lecturas del hidrómetro y del termómetro a los 40 segundos y a las dos horas. Según el método se corrigieron las lecturas del hidrómetro utilizando la lectura del termómetro para corregir la del hidrómetro, señalando que se suman o restan 0.2 a las lecturas del hidrómetro cada grado arriba o bajo de los 67 °F respectivamente. Para encontrar el porcentaje de cada fracción de cada partícula del suelo se utilizaron las siguientes formulas:

$$\% \text{ arcilla} = (R2 + F) \times 2$$

Donde:

R2 = lectura del hidrómetro a las dos horas.

F = factor de corrección tomado de tabla según la temperatura a las dos horas.

$$\% \text{ arena} = (R1 + F) \times 2 - 100 \text{ Donde:}$$

R1 = lectura del hidrómetro a los 40 segundos.

F = factor de corrección toma de la tabla según la temperatura a los 40 segundos.

$$\% \text{ limo} = 100 - \% \text{ arcilla} - \% \text{ arena}$$

Para la determinación del tipo de textura del suelo se requirió del triángulo textural, utilizando los porcentajes de arcilla, limo y arena determinados previamente.

Para la determinación de textura se realizó una dispersión del suelo de dos formas: la química y mecánica. Para la determinación química se utilizó una solución dispersante (Figura 10), la cual se formuló con hexametáfosfato de sodio y se disolvió en agua destilada, también se incorporó carbonato de sodio disuelto en agua destilada y se dejó reposar durante 24 horas.



Figura 10. Elaboración de solución dispersante

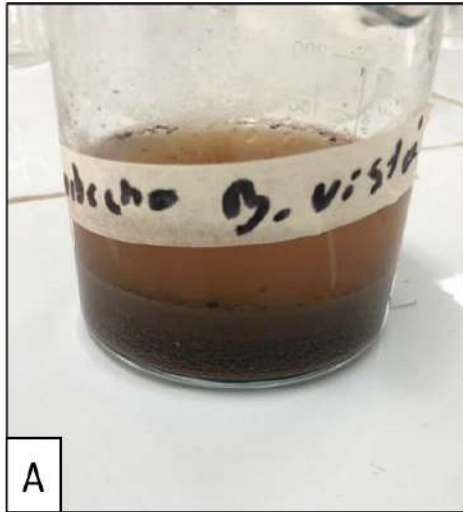


Figura 11. Muestra de suelo con solución dispersante (A), y batidora eléctrica para la separación física de la muestra de suelos (B)

Determinación de textura con la metodología de Bouyoucos, introduciendo la muestra de suelos en el cilindro de vidrio de 1000 ml, después de la dispersión física con la batidora eléctrica.



Figura 12. Introducción de muestra de suelos en cilindros de vidrio

4.7.2. Determinación densidad aparente del suelo

La densidad aparente se realizó con el método cilindro (Delgadillo & Martinez, 2010), que consiste en:

- Tomar una muestra de suelos con el cilindro de volumen fijo.
- Se coloca el cilindro en el suelo y se golpea en la parte superior con un martillo hasta introducirse por completo.
- Se retira el cilindro y se cortan los extremos.
- Se depositó en bolsas plásticas previamente identificadas.
- Se trasladan al laboratorio.
- Se depositan en un Beaker y se introducen en el horno a 105° C durante 24 horas.
- Se registra el peso seco de la muestra de suelos

Esta prueba se realizó, en los 15 escenarios de uso del suelo (Figura 13), y la densidad aparente se determinó utilizando la fórmula:

$$Da = \frac{Pss}{VC}$$

Donde:

Da: densidad aparente (g/cm³).

Pss: peso del suelo seco en el horno (gr) a 105 °C.

Vc: volumen del cilindro (cm³).

En la Figura 13 se observa la recolección de la muestra de suelos para la determinación de la densidad aparente con cilindro a nivel de campo, en la comunidad de Buena Vista 1. Este análisis se realizó para cada uso de suelo en cada comunidad incluida en el estudio.



Figura 13. Extracción de muestras de densidad aparente.

4.7.3. Determinación de la porosidad del suelo

La porosidad total se determinó con los parámetros de densidad aparente y densidad real mediante la fórmula.

$$\% P = \left(1 - \left(\frac{Da}{Dr}\right)\right) * 100$$

Dónde:

% P: Porcentaje de Porosidad.

Da: Densidad aparente (g/cm³).

Dr: Densidad real (g/cm³).

4.7.4. Determinación de la estructura del suelo

La determinación de la estructura del suelo se llevó a cabo utilizando el Manual de descripción y recolección de suelos en el campo. Este método se basa en la observación detallada de la muestra, teniendo en cuenta la forma, el tamaño y la disposición de los agregados, así como la presencia de poros y grietas, se realizaron descripciones visuales tanto en el campo como en el laboratorio, utilizando herramientas como la lupa, con el fin de obtener una evaluación precisa de la estructura del suelo (Santos & Shimizu, 2015).

4.7.5. Distribución de agregados del suelo

La distribución de los agregados se realizó utilizando el equipo RX-812, un agitador de tamices, en un enfoque de vía seca. Se emplearon tamices con diámetros de 2, 1, 0.6 y 0.25 mm para determinar la distribución de cada agregado y el tamaño predominante en cada muestra. Los tamices se colocaron en orden descendente según su tamaño, y cada muestra se sometió a un proceso de agitación durante 15 minutos. Es importante mencionar que los tamaños de tamiz utilizados fueron los disponibles en el laboratorio, dado que no se contaba con una variedad más amplia. (Figura 14).



Figura 14. Equipo RX-812 para la distribución de agregados en seco.

Para llevar a cabo este proceso, es necesario seguir los siguientes pasos:

- Se pesaron 50g de la muestra.
- Rotulación y peso inicial del recipiente donde se colocarán las muestras por tamaño de agregado.
- Ordenamiento de los recipientes de tamiz, en forma descendente según los tamaños a investigar de los agregados.
- Se colocó la muestra en el tamiz superior y posteriormente en el equipo que fue utilizado a duración de 15 minutos.
- Se separaron y depositaron los agregados en los recipientes correspondientes por cada tamaño de tamiz.
- Se pesó cada recipiente, en cada tamaño de agregado.

4.7.6. Prueba de estabilidad de agregados

Para cuantificar la estabilidad de agregados al contacto con el agua se empleó el método Yoder (1936), el cual consiste en someter la muestra de suelo en un conjunto de tamices sometidos a oscilación vertical en el agua, que simula el efecto de mojar y transportar los agregados durante la ocurrencia de una lluvia



Figura 15. Prueba de estabilidad de agregados por el método Yoder.

Para este método se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Preparación de la muestra en tamices entre 7.00-4.76 mm de diámetro.
- Se pesaron 25 g de suelo por cada muestra.
- Se pesó e identificó cada recipiente de aluminio.
- Se ordenaron de forma descendente los tamices (2, 1, 0.5 y 0.25 mm).
- Se humedeció la muestra en su totalidad, durante 5 minutos antes de introducirla al equipo.
- Se llenó con agua de grifo el equipo Yoder con un volumen de 70 litros.
- Se colocó la muestra de suelos en la parte superior del tamiz.
- Se introdujeron los tamices y se esperó a qué se sumerjan por completo.
- Encender y calibrar el equipo a 20 rpm y 15 minutos.
- Con ayuda de una piseta se retiraron los acumulados de cada tamiz y se depositaron en recipientes de aluminio previamente identificados para cada tamaño de agregados.
- Se introdujeron al horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas.
- Se registró el peso de cada recipiente con suelo seco.

4.7.7. Diámetro medio y diámetro medio ponderado

El diámetro medio (DM) y el diámetro medio ponderado (DMP) son parámetros utilizados para caracterizar la distribución de tamaños de partículas en un suelo. La fórmula para calcular estos parámetros depende del método utilizado para determinar la distribución de tamaños, como el análisis granulométrico. Para la investigación se utilizó la fórmula:

Fórmula del Diámetro Medio

$$DM: DM = \Sigma (D_i * W_i) / \Sigma W_i$$

Donde:

D_i = es el diámetro de cada fracción o clase de tamaño.

W_i = es el peso o porcentaje de cada fracción o clase de tamaño.

Fórmula del Diámetro Medio Ponderado (DMP):

$$DMP = \sum (D_i * P_i) / 100$$

Donde:

D_i = es el diámetro de cada fracción o clase de tamaño.

P_i = es el porcentaje acumulado de cada fracción o clase de tamaño.

4.7.8. Índice de Estabilidad de Agregados

El índice de estabilidad es suma de los diámetros medios ponderados de cada muestra, para esto se implementó la siguiente formula

$$AIE = \frac{DMP_u}{P_{dm}} * 100$$

AIE= índice de estabilidad

DM_{pu} = Diámetro medio ponderado húmedo

P_{dm} = diámetro medio ponderado

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este informe, se presentan los resultados obtenidos a través de una investigación orientada a demostrar la estabilidad de los agregados en suelos bajo diferentes usos dentro de la microcuenca del Río Talgua, específicamente en las comunidades de Pinabetales, Flor del Café y Buena Vista 1. Los datos recopilados se presentan en tablas y en figuras, gráficamente, ilustrando los promedios y porcentajes de las condiciones físicas y químicas presentes en la microcuenca. Además, se realiza un análisis de componentes principales (ACP) para profundizar en la comprensión de los patrones y correlaciones entre las variables investigadas.

En relación a las propiedades químicas, se observa una variabilidad en el pH del suelo, que abarca desde ligeramente ácido hasta ligeramente alcalino en distintos puntos de la microcuenca. Se identificaron niveles moderados de materia orgánica en la mayoría de los sitios muestreados, indicando una capacidad razonable de retención de nutrientes y calidad del suelo. En cuanto a los nutrientes, se encontró una variabilidad en sus niveles, pero en general, se identificaron deficiencias de nitrógeno y fósforo en los suelos de la microcuenca (Tabla 6). En cuanto a los parámetros físicos evaluados, se destaca que en general la textura del suelo predominantemente es franco arcilloso arenoso, con una estructura granular. La densidad aparente se registra en 1.3 g/cm^3 densidad real 2.4 g/cm^3 y porosidad promedio se establece en un 46.8% (Tabla 7).

El análisis de componentes principales (ACP) se llevó a cabo con el propósito de discernir patrones y correlaciones entre las variables examinadas. Este análisis proporcionó una comprensión más profunda de cómo las diferentes propiedades físicas y químicas interactúan entre sí en la microcuenca. Los resultados del ACP permiten identificar relaciones significativas y agrupamientos que podrían no ser evidentes de manera individual. Esta técnica proporciona una visión más integral y descriptiva de la complejidad de la estabilidad del suelo en la microcuenca del Río Talgua, lo que a su vez puede guiar decisiones de manejo y conservación más eficientes.

Tabla 6. Datos de mediciones de las características química del suelo bajo diferentes usos en la microcuenca del Rio Talgua

Uso de Suelo		% MO	pH	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Pinabetales												
1	Maíz	4.52	5.73	3257.00	323.00	41.14	49.73	1.33	2.61	0.23	9.00	123.30
2	Frijol	4.93	5.71	2688.00	322.50	35.76	52.56	1.29	1.92	0.25	6.00	52.95
3	Café	5.94	5.30	2790.00	225.50	72.95	40.16	1.63	2.99	0.30	6.00	87.20
4	Sin cobertura	4.21	5.73	3282.00	270.50	48.75	65.84	0.92	2.19	0.21	4.00	74.65
5	Barbecho	3.17	5.62	2194.00	315.00	48.60	18.71	1.06	1.71	0.16	4.00	80.50
Flor del Café												
6	Maíz	3.90	5.72	2634.00	275.50	37.58	48.21	1.62	2.43	0.20	4.00	90.70
7	Frijol	3.77	6.82	5738.00	262.50	13.82	16.44	2.03	3.72	0.19	20.00	236.95
8	Café	2.33	5.29	1878.00	250.50	41.90	30.79	1.31	1.37	2.33	4.00	61.90
9	Sin cobertura	3.58	5.56	1576.00	230.00	42.67	32.40	0.64	1.05	0.18	4.00	167.70
10	Barbecho	6.54	7.54	17382.00	340.50	4.65	3.75	1.05	2.21	0.33	8.00	150.00
Buena Vista 1												
11	Maíz	2.33	5.33	1845.00	240.50	38.08	23.50	0.94	1.82	0.12	4.00	37.00
12	Frijol	2.04	5.56	2276.00	224.50	36.03	41.96	1.89	3.28	0.10	8.00	65.60
13	Café	5.28	6.22	4014.00	389.00	34.22	12.82	0.53	2.01	0.26	6.00	95.25
14	Sin cobertura	4.27	5.73	3174.00	268.50	66.28	30.89	0.74	1.38	0.21	2.00	31.95
15	Barbecho	2.95	5.45	2736.00	288.50	43.65	36.47	0.91	1.73	0.15	4.00	36.50

Tabla 7. Datos de mediciones de las características Físicas del suelo bajo diferentes usos en la microcuenca del Rio Talgua

Uso de suelo		Densidad Real (g/cm3)	Densidad Aparente (g/cm3)	Porosidad (%)	Estructura		Promedio de Estabilidad (%)
Pinabetales							
2	Maíz	2.38	1.30	45.4	Granular	Grande 5-10 mm	60.94
3	Frijol	2.53	1.23	51.42	Granular	media 2-5 mm	56.71
1	Café	2.27	1.16	48.96	Granular	Grande 5-10 mm	66.85
4	Sin cobertura	2.35	1.37	41.78	Granular	Grande 5-10 mm	40.90
5	Barbecho	2.30	1.35	41.27	Granular	media 2-5 mm	60.34
Flor del Café							
6	Maíz	2.41	1.45	43.45	Granular	Pequeña 1-2 mm	59.27
7	Frijol	2.47	1.30	46.05	Granular	media 2-5 mm	59.37
8	Café	2.53	1.12	51.28	Granular	Grande 5-10 mm	31.91
9	Sin cobertura	2.44	1.39	40.93	Granular	Grande 5-10 mm	34.94
10	Barbecho	2.47	1.11	53.38	Granular	media 2-5 mm	68.70
Buena Vista 1							
11	Maíz	2.56	1.21	49.79	Granular	Pequeña 1-2 mm	49.84
12	Frijol	2.41	1.28	48.16	Granular	media 2-5 mm	59.91
13	Café	2.30	1.32	47.86	Granular	media 2-5 mm	54.32
14	Sin cobertura	2.35	1.54	36.86	Granular	Pequeña 1-2 mm	51.51
15	Barbecho	2.38	1.10	55.45	Granular	media 2-5 mm	68.71

5.1. Características químicas del suelo

5.1.1. pH

Los datos de pH obtenidos en la investigación reflejan diferentes niveles de acidez/alcalinidad en los diferentes usos de suelo de la microcuenca del Río Talgua (Figura 16). De acuerdo con Luters & Salazar, (2011), en la comunidad de Pinabetales, los usos de suelo de maíz, frijol sin cobertura vegetal y barbecho presentan un pH entre 6-6.5, mientras que el cultivo de café tiene un pH fuertemente ácido debido a altos contenidos de materia orgánica en descomposición.

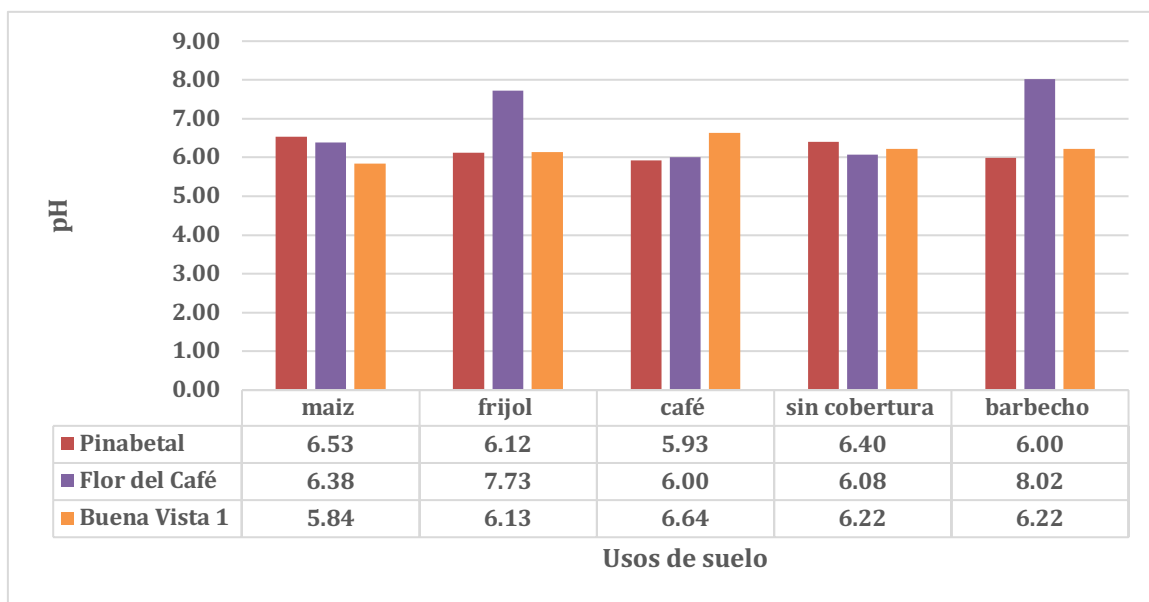


Figura 16. Promedios de pH de los suelos bajo diferentes tipos de cobertura.

En la comunidad de Flor del Café, los usos de suelo de maíz, café y sin cobertura tienen un pH moderadamente ácido (6-6.5), el suelo de frijol tiene un pH neutro (7.0-7.5) y el barbecho es moderadamente alcalino (<8.00). En Buena Vista 1, los usos de suelo de frijol, café, sin cobertura y barbecho tienen un pH ligeramente alcalino (6-6.6), mientras que el cultivo de maíz tiene un pH fuertemente ácido de 5.83.

5.1.2. Contenido de materia orgánica

Los datos obtenidos en la investigación representan la cantidad de materia orgánica presente en cada uso de suelo y cada comunidad (Figura 17)

En la comunidad de Pinabetales, en los usos de suelos de frijol y sin cobertura, se encontró una MO entre 4-4.9%, que de acuerdo con Raudes & Sagastume (2009), estos suelos presentan una muy buena cantidad de materia orgánica con reacciones lentas en el suelo; en el uso de suelo de barbecho, el contenido de MO. es de 3%, lo que indica un contenido medio, y se ve reflejado en pocas y lentas reacciones en el suelo. En el cultivo de maíz, el contenido de materia orgánica es mayor al 5%, lo que contribuye a una rápida acción de reacciones en el suelo, lo que contribuye a mayor retención de agua y nutrientes del suelo.

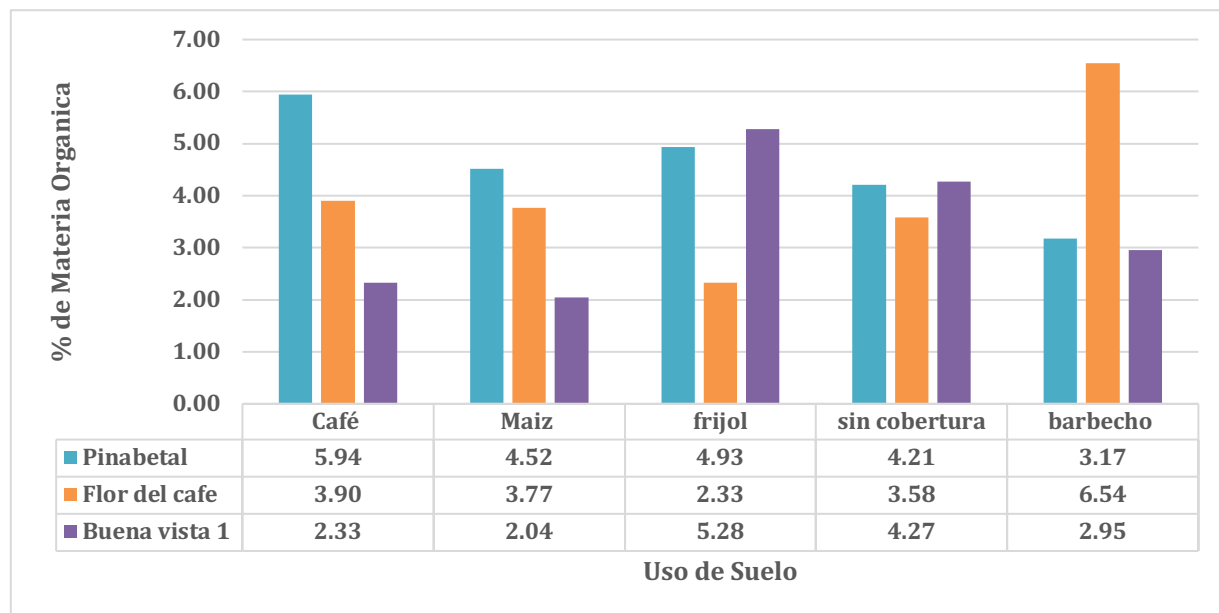


Figura 17. Porcentaje de materia orgánica en los diferentes tipos de cobertura vegetal

De igual forma, en la comunidad de Flor del Café, los usos de suelo de maíz y sin cobertura vegetal, el contenido de MO. es de 3-3.9%, lo que indica una velocidad de reacción intermedia y lenta en el suelo, en el cultivo de frijol, el contenido de MO. es de 2.3%, lo que resulta en una baja y lenta actividad biológica del suelo, esto se debe a prácticas agrícolas inadecuadas, como las quemas no

controladas (Anexos 6A), y el uso de monocultivos que afectan las condiciones del suelo; en cuanto al suelo utilizado para el cultivo de café, el porcentaje de MO. es de 3.9%, debido a la topografía desfavorable del terreno, siendo suelo de ladera con una pendiente superior al 65%.

Finalmente, la comunidad de Buena Vista 1, en utilidad de los suelos café, maíz y barbecho, el contenido de MO oscila entre 2-2.9%. Esto resulta en pocas y lentas reacciones en la actividad biológica del suelo. En el cultivo de frijol, el contenido de MO es mayor al 5%, lo que contribuye a más reacciones rápidas y numerosas en el suelo.

5.1.3. Variabilidad del contenido de Materia Orgánica (MO) y pH en las comunidades.

La Figura 18 representa la variabilidad de materia orgánica y pH de los suelos a nivel de comunidad. Con relación al contenido de materia orgánica, se observa que los suelos de la comunidad de Buena Vista 1 presentan el nivel mínimo de 2%, con un máximo de 5.5%, con una media de 3%. De acuerdo con el percentil el 75% de los datos de encuentran en un rango entre 3-4.2% en la comunidad de Flor del café presentan baja variabilidad con una media de 3.9%, presentando un mediación atípica de 6.5%, posiblemente atribuible al usos de suelos en barbecho Igual manera en la comunidad de Pinabetal, presenta un mínimo de 3.2% a un máximo de 6%, con una media de 5% (Figura 18a).

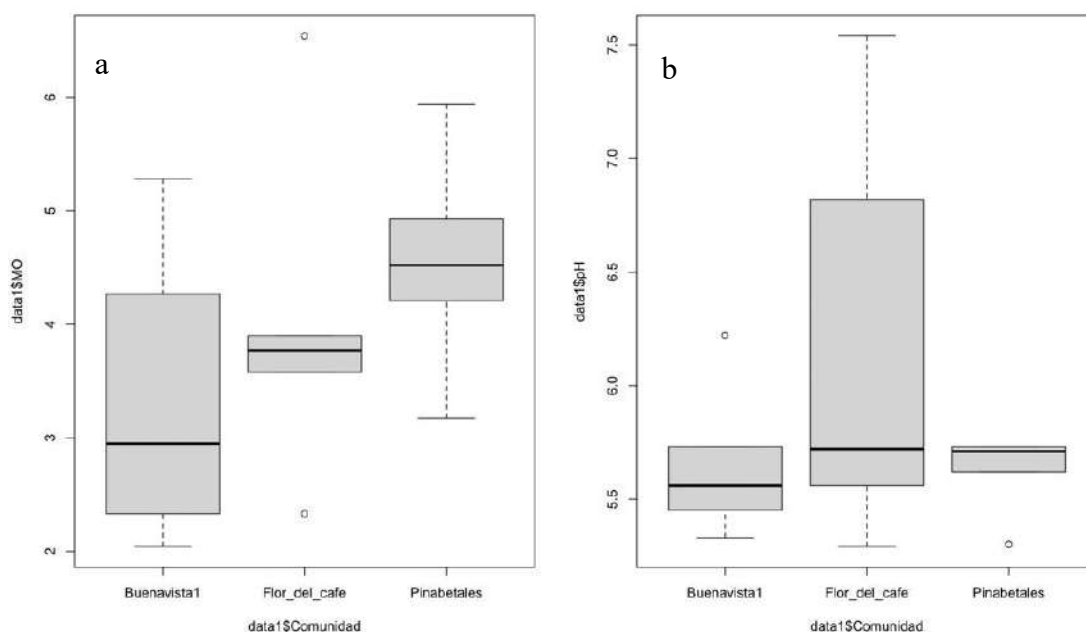


Figura 18. Variabilidad del contenido de materia orgánica (a) y pH (b) en suelos de comunidades

Con relación al pH, en la comunidad de Buena vista 1, presenta un mínimo de 3, con una media 5.6, un máximo de 5.8, con una variación de 6.2; de igual manera en Flor del café los suelos presentan un mínimo de 3 a un máximo de 7.5, en esta comunidad se presenta una variación de datos, los cuales se encuentran dispersos entre 5.7- 6.8. Así mismo en la comunidad de Pinabetal los datos representan un mínimo y un máximo entre 5.6-5.8, con una media de 5.7 (Figura 18b).

El pH del suelo es esencial para crear condiciones de crecimiento ideales para la mayoría de las plantas. Esto se debe a que el pH del suelo controla la solubilidad de los nutrientes, así como de los metales pesados. En la mayoría de los casos, los agentes de encalado se agregan al suelo para elevar el pH al rango deseado. (Crouse, 2023),

La variabilidad de la materia orgánica y el pH dependen del estado de la descomposición del material vegetal. En el suelo presentan la capacidad de retener agua, y facilitan la adición de materia orgánica, así como la cantidad de iones presentes en el suelo. (Perez, 2008).

5.1.4. Correlación materia orgánica con pH y Mg.

El análisis de correlación representado en la figura 19 muestran la relación entre la materia orgánica (MO) y las variables pH y Mg. En el caso de la correlación entre la materia orgánica y el pH, (Figura 19 a) se observa una correlación significativa. Por tanto, el coeficiente de correlación (r) es de 0.557152, lo cual indica una relación positiva media entre la materia orgánica y el pH del suelo. Además, el valor de P (0.03096), indica que esta correlación es estadísticamente significativa, lo que sugiere que es poco probable que la relación observada sea producto del azar y que en realidad existe un grado de asociación entre ambas variables.

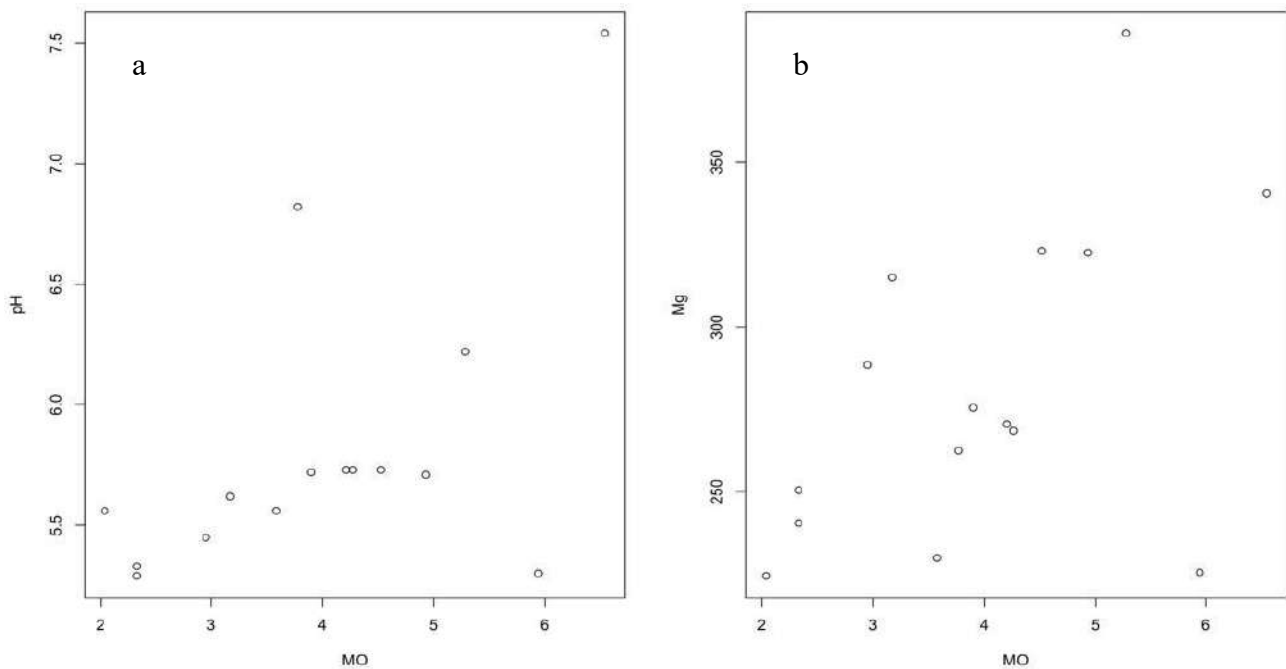


Figura 19. Gráfico de correlación entre MO – pH (a) y MO- Mg (b)

En cuanto a la correlación entre la materia orgánica y el Mg (Figura 19 b), también se encuentra una diferencia significativa. El coeficiente de correlación (r) es de 0.514897, lo que indica una relación positiva moderada entre la materia orgánica y el contenido de Mg, en el suelo. El valor de P (0.04955) también indica que la correlación entre ambas variables es estadísticamente significativa. La materia orgánica y el magnesio están estrechamente relacionados y desempeñan un papel crucial. El magnesio, un macronutriente frecuentemente pasado por alto en los planes de

fertilización, puede limitar el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos, también cumple funciones esenciales en las plantas, siendo parte fundamental de la clorofila, molécula que posibilita la fotosíntesis. (Gacitua & Lagos, 2020)

5.1.5. Disponibilidad de macronutrientes (N, P, K) en suelos de cada comunidad

La figura 20 presentan las diferentes concentraciones de macronutrientes en el suelo en cada comunidad. En la comunidad de Buena Vista 1, se observa que el contenido de nitrógeno varía desde 0.1 mg/kg hasta un máximo de 0.3 mg/kg, con una media de 0.2 mg/kg (Figura 20 a). En cuanto al fósforo, su contenido oscila entre 1.00 mg/kg y 8.00 mg/kg, con una media de 4.00 mg/kg. Los datos de fósforo se mantienen dentro del rango de 4-7 mg/kg (Figura 20 b).

Con relación al potasio, que de igual forma se encuentra disponible en un rango mínimo de 30 mg/kg hasta un máximo de 95 mg/kg, y se mantiene en un rango de 40-60 mg/kg (Figura 20 c). En la comunidad de Flor del Café, se observa que el nitrógeno está presente en concentraciones que van desde un mínimo de 0.18 mg/kg hasta un máximo de 0.33 mg/kg. En cuanto al fósforo, su contenido varía desde un mínimo de 4 mg/kg hasta un máximo de 20 mg/kg, y se mantiene en un rango de 4-8 mg/kg. Asimismo, el potasio está disponible en un máximo de 230 mg/kg, con una media de 150 mg/kg, y se encuentra en un rango entre 95-170 mg/kg.

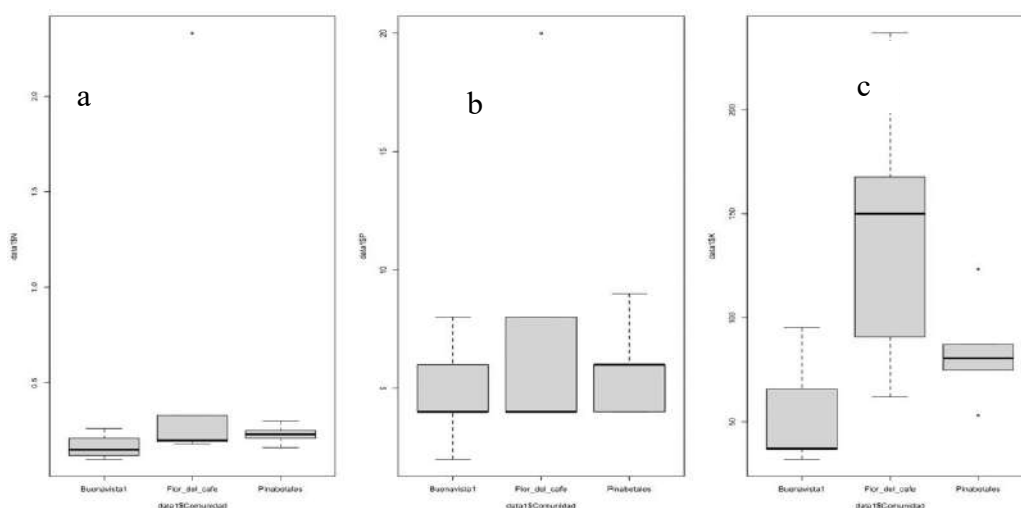


Figura 20. Variabilidad de macronutrientes en suelo N (a), P (b), K(c).

En la comunidad de Pinabetal, el nitrógeno se encuentra en bajas concentraciones, con un mínimo de 0.16 mg/kg y un máximo de 0.30 mg/kg, y una media de 0.21 mg/kg. El contenido de fósforo oscila entre 4.00 mg/kg y 9.00 mg/kg, y se mantiene en un rango de 4-7 mg/kg. En cuanto al potasio, su contenido promedio es de 90 mg/kg y se mantiene en un rango de 65-58 mg/kg.

La variabilidad de macronutrientes o elementos primarios se encuentra asociada a los microorganismos como hongos o nematodos. El fósforo es el elemento nutritivo más limitante del rendimiento de los cultivos después del N, el potasio tiene un papel importante en la activación enzimática, fotosíntesis y síntesis de proteínas y carbohidratos, balance de agua y en el crecimiento meristemático, también favorece la resistencia de la planta a diferentes plagas y enfermedades. La deficiencia de estos se ve reflejada en la producción y calidad del fruto (G.J, 2019)

5.2. Características físicas del suelo

5.2.1. La textura

Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que las clases textuales encontradas en los suelos de la microcuenca del Río Talgua; de acuerdo con Ciancaglini (2009), corresponden a texturas franco arcilloso arenoso un 53%, franco arcilloso 36% y un 14% de franco arenoso (Tabla 8).

Tabla 8. Texturas de los suelos de la microcuenca del Río Talgua.

Textura del suelo microcuenca río Talgua					
Nº	Uso de suelo	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
Pinabetales					
1	Maíz	20.4	42	37.6	Franco Arcilloso
2	Café	62.4	24	13.6	franco arenoso
3	Frijol	56.4	22.8	20.8	franco arcilloso arenoso
4	Barbechos	54.4	22.8	22.8	franco arcilloso arenoso
5	Sin cobertura	58.2	28.6	13.2	Franco arcilloso
Flor del Café					
6	Maíz	55.6	22.8	21.6	franco arcilloso arenoso
7	Café	44.4	33.2	22.4	franco arcilloso arenoso
8	Frijol	54.4	22	23.6	franco arcilloso arenoso
9	Barbechos	19.6	54.8	25.6	franco limoso
10	Sin Cobertura	40.4	28	31.6	franco arcilloso
Buenas Vista 1					
11	Maíz	55.6	24.8	19.6	franco arcilloso arenoso
12	Café	56.4	20	23.6	franco arcilloso arenoso
13	Frijol	54.4	22.8	22.8	franco arcilloso arenoso
14	Sin Cobertura	46.4	26	27.6	franco arcilloso
15	Barbechos	64.4	22	13.6	franco arenoso

En la comunidad de Pinabetal la textura de suelo que predomina es franco arcilloso y el franco arcilloso arenoso, son texturas con una mezcla equilibrada de partículas de diferentes tamaños, las partículas más grandes como las arenas, ayudan a un buen drenaje, las partículas más finas como la arcilla, ayudan a la retención de agua y nutrientes. En las comunidades de Flor del Café y Buena Vista 1, la textura presente en su mayoría es el franco arcilloso arenoso, esta textura es la utilizada en los cultivos de maíz, frijoles y café, y están relacionadas con algunas características como la materia orgánica, pH, densidad aparente y porosidad.

5.2.2. Densidad aparente del suelo

La figura 21 representa las variaciones de la densidad aparente entre cada comunidad y en cada uso de suelo. En la comunidad de Flor del Café se obtuvieron valores desde 1.1 a 1.5 g/cm³, en los cultivos de maíz, frijoles y café presentan una densidad entre 1.2 - 1.3 g/cm³, estos valores son similares con la comunidad de Pinabetales.

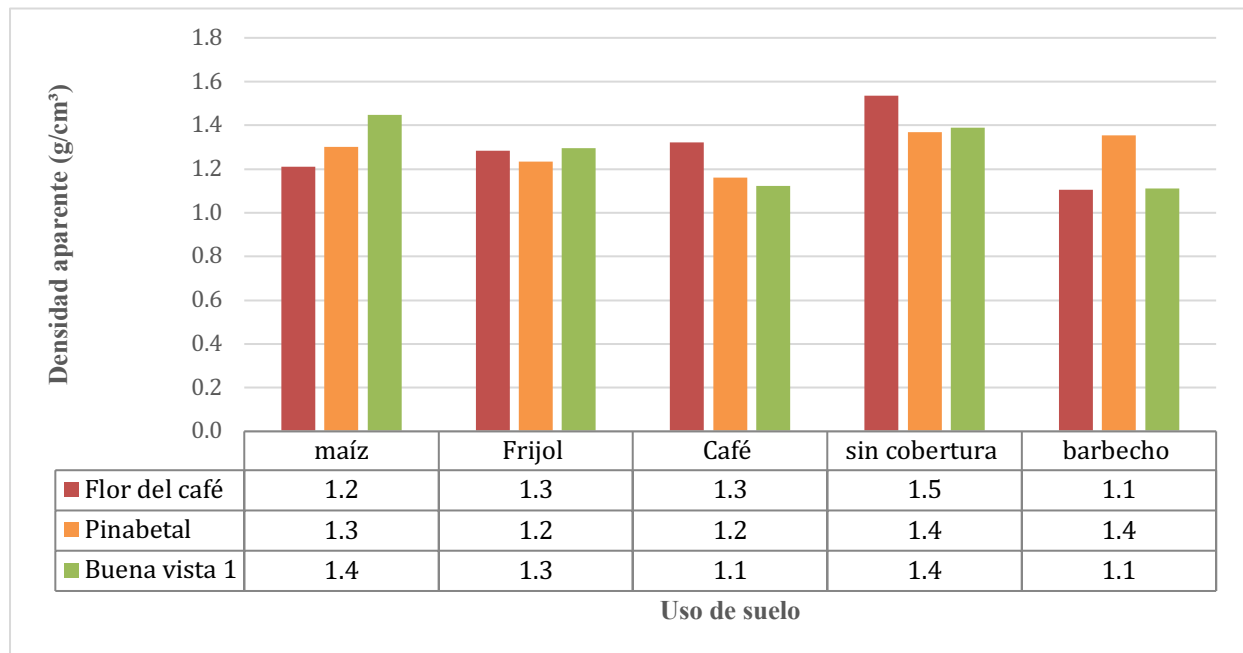


Figura 21. Densidad aparente de suelo en diferentes tipos de cobertura

En la comunidad de Buena Vista 1 hay una variación en los datos en el cultivo de maíz de 1.4 g/cm³, en los usos de suelo sin cobertura presentan una DA de 1.4-1.5 g/cm³ y el barbecho presentan una DA de 1.1 g/cm³ en Pinabetales en los usos de suelo de frijol y café es de 1.2 g/cm³, en el suelo sin cobertura vegetal y barbecho 1.4 g/cm³. De acuerdo con Luters & Salazar (2011), en la textura de franco arcillos arenoso presenta una densidad aparente ideal < 1.40, también puede presentar una DA que puede afectar o restringir el crecimiento radicular, poder llegar desde un 1.60 – 1.75 g/cm³.

5.2.3. Porosidad del suelo

Los porcentajes de porosidad en los suelos tienen una relación inversamente proporcional con la densidad aparente, ya que, a mayor densidad, menor porosidad y viceversa. En la comunidad de Pinabetales en los usos de suelo de maíz, café, sin cobertura vegetal y barbecho, de acuerdo con Delgadillo & Martínez (2010), estos suelos presentan una porosidad media que oscila del 40-50 %. Una porosidad media proporciona un equilibrio adecuado entre la retención de agua y la disponibilidad de oxígeno en el suelo para las raíces, esto favorece un crecimiento adecuado de las plantas y una absorción eficiente de nutrientes, lo que se refleja en una buena producción. (Figura 22).

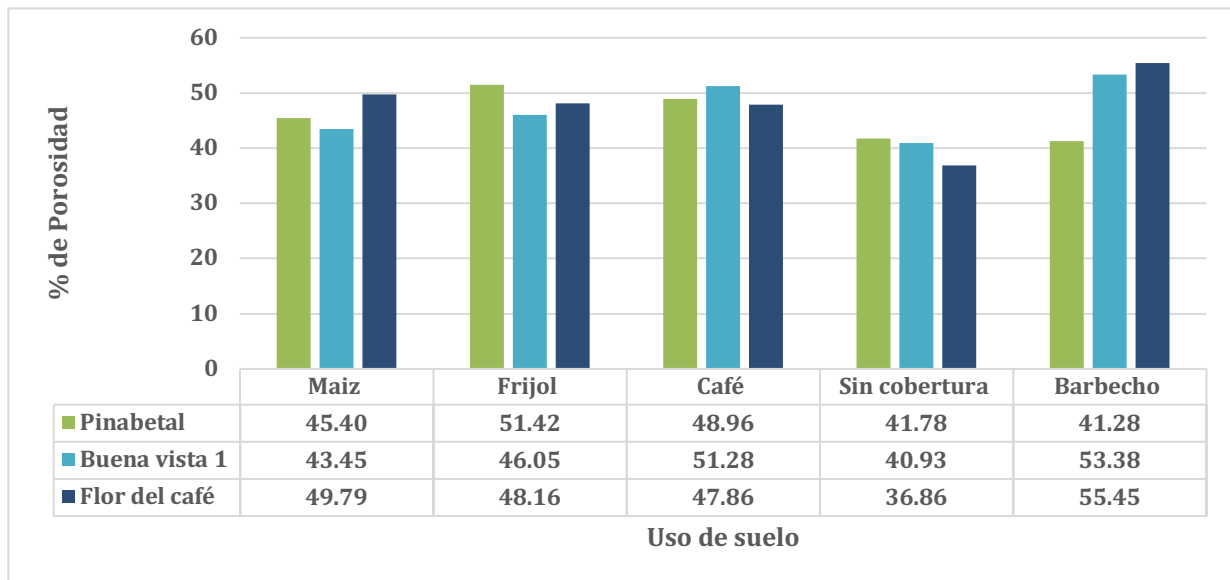


Figura 22. Porosidad en los diferentes usos del suelo en cada comunidad

El cultivo de frijol presentó una porosidad alta, mayor al 50%, esto promueve una buena aireación y facilita el acceso de las raíces, con la cual presenta un crecimiento vigoroso, una mayor capacidad de fijación de nitrógeno y un rendimiento satisfactorio en producción. En las comunidades de Buena Vista 1 y Flor del Café en los usos de suelo de maíz, frijol y café presentan una porosidad media, los usos de suelo sin cobertura vegetal presentan una porosidad baja del 30-40%. Esto se debe a que son suelos mayormente compactados, con una densidad aparente mayor, la cual restringe la difusión al oxígeno en el suelo. En el suelo bajo barbecho en las dos comunidades presentan una porosidad alta del 53-55 %.

5.2.1. Correlación materia orgánica - calcio y densidad aparente – porosidad

La gráfica representa la correlación entre la materia orgánica (MO) y el calcio, así como la correlación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo. En el caso de la correlación entre la materia orgánica y el calcio (Figura 23 a), se observa una asociación significativa. El coeficiente de correlación (r) es de 0.6072736, lo cual indica una relación positiva moderada entre la materia orgánica y el contenido de calcio en el suelo. Además, el valor de P (0.01635) indica que esta correlación es estadísticamente significativa, lo que sugiere que es probable que la asociación observada sea producto del azar.

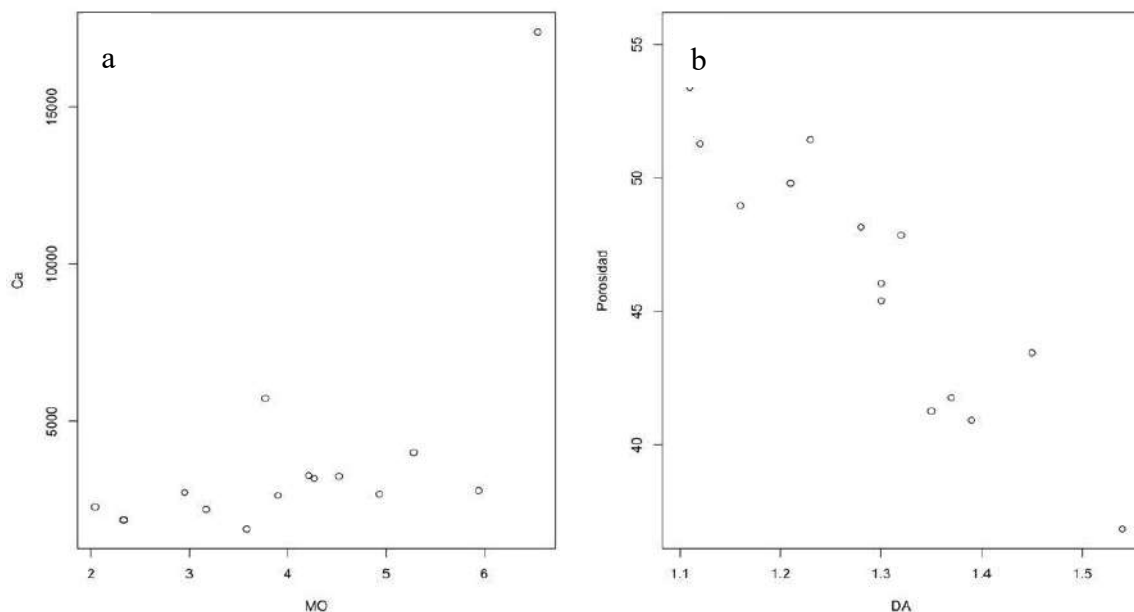


Figura 23. Gráfico de correlación entre MO. - Ca (a) y Densidad aparente – Porosidad (b).

La correlación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo es negativa (Figura 23 b). El coeficiente de correlación (r) es de -0.9299592, lo que indica una fuerte correlación negativa entre la densidad aparente y la porosidad del suelo. Es decir, a medida que la densidad aparente aumenta, la porosidad disminuye. Esta correlación también es significativa; con un valor de P de 5.183e-07

La relación entre la materia orgánica y el calcio se refleja en la estructura del suelo. La materia orgánica influye sobre la estructura del suelo pues los coloides orgánicos de las sustancias húmicas enlazan con el retículo cristalino de los minerales arcillosos a través del calcio cambiante, originando una mayor fuerza de adhesión y por ello favoreciendo la estructura. Se originan

estructuras favorables tipo grumosa, o granular fina al aumentar el contenido de materia orgánica (Soto, 2011)

5.2.2. Variabilidad de densidad aparente y la porosidad del suelo en cada comunidad

Las figuras 24, representan la variabilidad de la densidad aparente y la porosidad del suelo en cada comunidad. Estos dos parámetros están relacionados de forma inversa, lo que significa que a medida que la densidad aparente del suelo aumenta, la porosidad disminuye. En la comunidad de Buena Vista 1, se observa una densidad aparente que oscila entre 1.1 y 1.35 g/cm³, con una media de 1.28 g/cm³. Al mismo tiempo, la porosidad promedio del suelo en esta comunidad se encuentra en un rango entre el 48% y el 50%.

En el mismo orden de ideas en Flor del Café, se observa una mayor variabilidad en los datos, la densidad aparente presenta una media de 1.3 g/cm³, con valores que llegan hasta un máximo de 1.45 g/cm³ y un mínimo de 1.17 g/cm³ y una porosidad promedio del 40-54%.

En Pinabetales, la densidad aparente presenta una media de 1.30 g/cm³, con un rango que se asemeja de 1.15 g/cm³ hasta 1.35 g/cm³, en términos de porosidad, se observa una variación más amplia, con valores que oscilan entre el 40% y el 55%.

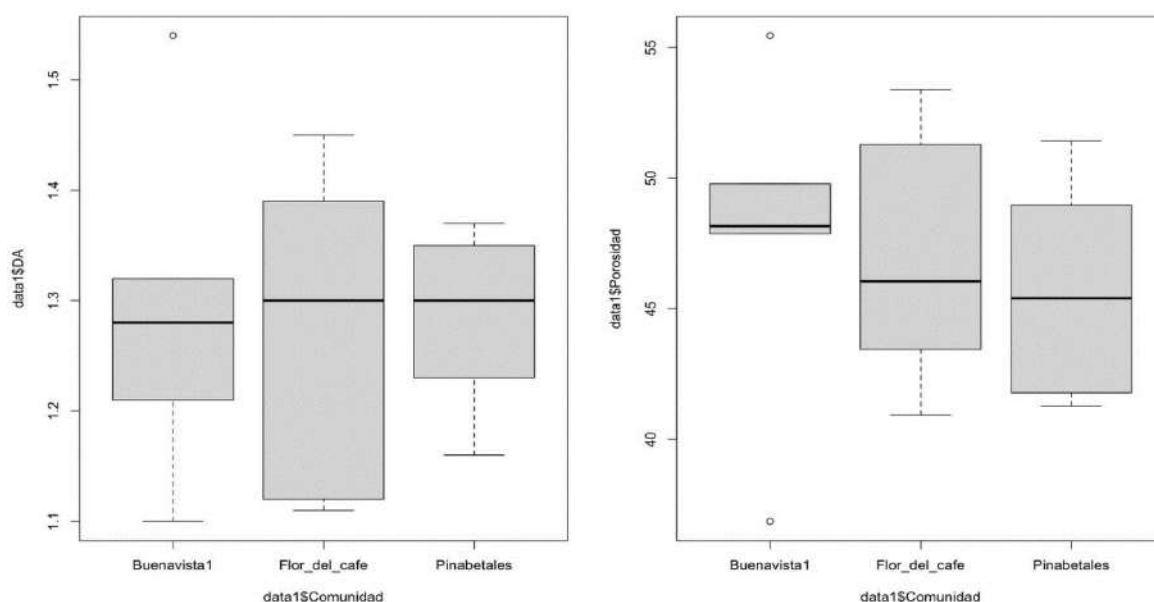


Figura 24. Densidad Aparente promedio y la porosidad de cada comunidad

La variabilidad de la Da derivada de la heterogeneidad misma de los suelos, puede asociarse con otras propiedades como la textura, donde los altos contenidos de arena la aumentan y bajos contenidos disminuyen. La importancia de la Da radica en su relación con otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y como indicador de su uso y manejo. La Da se utiliza para calcular la porosidad total del suelo y la relación suelo-agua, La Da tiene un efecto directo en el crecimiento de las plantas y la producción de los cultivos. (Jiménez, Salazar, & Sánchez, 2018)

5.2.3. Estructura del suelo

De acuerdo con la clasificación presentada por Santos & Shimizu (2015), demuestra los datos obtenidos de las estructuras del suelo son granulares y varían en tamaño (Tabla 9). En la comunidad de Pinabetales, los usos de suelo, para maíz, café y aquellos sin cobertura vegetal muestran un tamaño superior de 5-10 mm, los usos de suelo de frijol y en barbecho, evidencian que el tamaño es mediano, oscilando entre 2-5 mm.

Tabla 9. Estructura del suelo en los diferentes tipos de cobertura

N°	Usos de suelo	Estructura	Tamaño
Pinabetales			
1	Maíz	Granular	Grande 5-10 mm
2	Frijol	Granular	media 2-5 mm
3	Café	Granular	Grande 5-10 mm
4	Sin Cobertura	Granular	Grande 5-10 mm
5	Barbechos	Granular	media 2-5 mm
Buena Vista 1			
6	Maíz	Granular	pequeña 1-2 mm
7	Frijol	Granular	media 2-5 mm
8	Café	Granular	Grande 5-10 mm
9	Sin Cobertura	Granular	Grande 5-10 mm
10	Barbechos	Granular	media 2-5 mm
Flor del Café			
11	Maíz	Granular	pequeña 1-2 mm
12	Frijol	Granular	media 2-5 mm
13	Café	Granular	media 2-5 mm
14	Sin Cobertura	Granular	pequeña 1-2 mm
15	Barbechos	Granular	media 2-5 mm

Los resultados obtenidos en la comunidad de Buena Vista 1, muestran que los usos de suelo de frijol y barbecho también tienen un tamaño mediano de 2-5 mm, mientras que la utilidad de los suelos de maíz presenta un tamaño más pequeño de 1-2 mm; en los usos de suelo de café y sin cobertura vegetal, tienen un tamaño mayor, comprendido entre 5-10 mm. En contraste, en la comunidad de Flor del Café, los usos de suelo de maíz y sin cobertura vegetal muestran un tamaño pequeño de 1-2 mm. Por su parte, suelos bajo de frijol, café y barbecho poseen un tamaño medio, situado entre 2-5 mm.

5.3. Distribución de agregados

5.3.1. Distribución de agregados mayor a 2 mm

La Figura 25 representa las concentraciones de agregados mayores a 2 mm en diversos usos de suelo, tanto en cada comunidad como en general. En el uso de suelo para maíz, se observa una similitud en la presencia de estos agregados en las tres comunidades, representando el 60% de cada muestra. En los suelos de frijol, las concentraciones oscilan entre el 55% y 75%. En cuanto al cultivo de café, estos agregados están presentes en un rango del 50% al 70%, mientras que en los suelos sin cobertura vegetal en las comunidades de Pinabetal y Buena Vista 1, estos valores pueden llegar a representar entre el 65% y 75%.

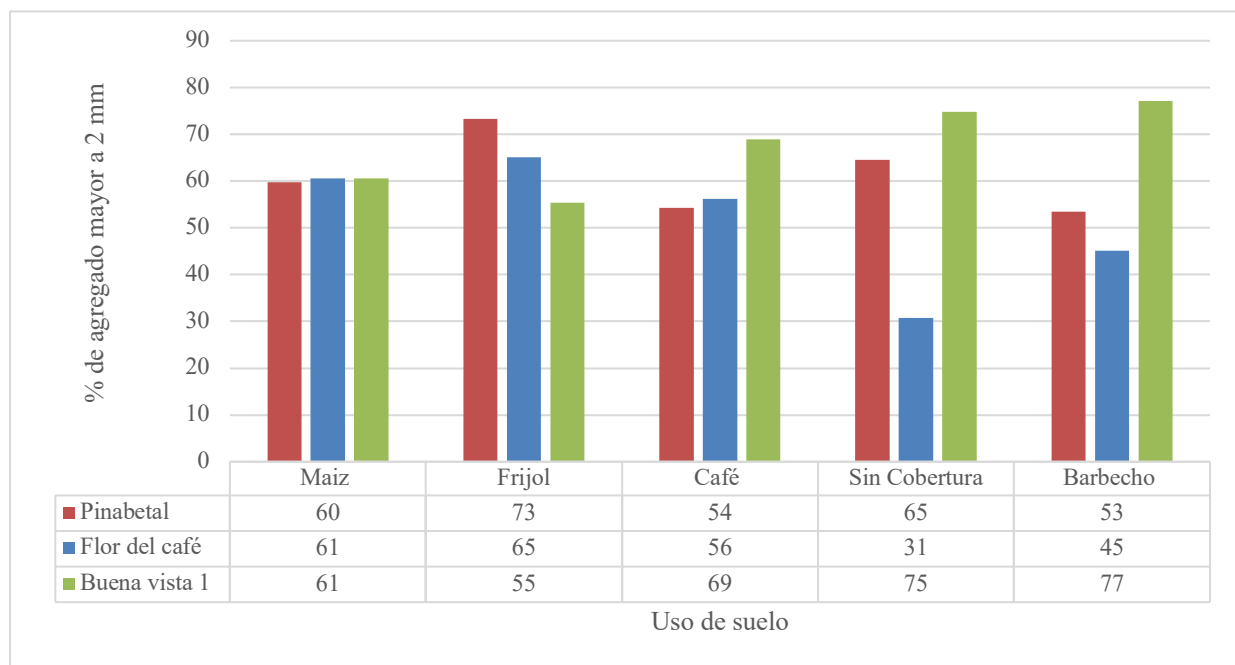


Figura 25. Distribución de agregados mayor a 2 mm en cada uso de suelos y en comparación con cada comunidad.

Por otro lado, en la comunidad de Flor del Café, la presencia de estos agregados es más baja, alcanzando hasta un máximo del 30% en las muestras de suelo. En los suelos en barbecho de las comunidades de Pinabetales y Buena Vista 1, las concentraciones pueden variar entre el 50% y 80%, mientras que en Flor del Café esta cifra se sitúa en un máximo de 45%.

5.3.2. Distribución de agregados de 2 mm

La gráfica representa la distribución de los agregados de 2 mm en cada uso de suelo y comunidad (Figura 26). En la Pinabetal, se observa que, en los usos de suelo de maíz, frijol y sin cobertura vegetal, estos agregados están presentes en cantidades inferiores al 20% de cada muestra de suelos, mientras que, en los usos de suelo de café y barbecho, su presencia alcanza hasta el 25% de cada muestra.

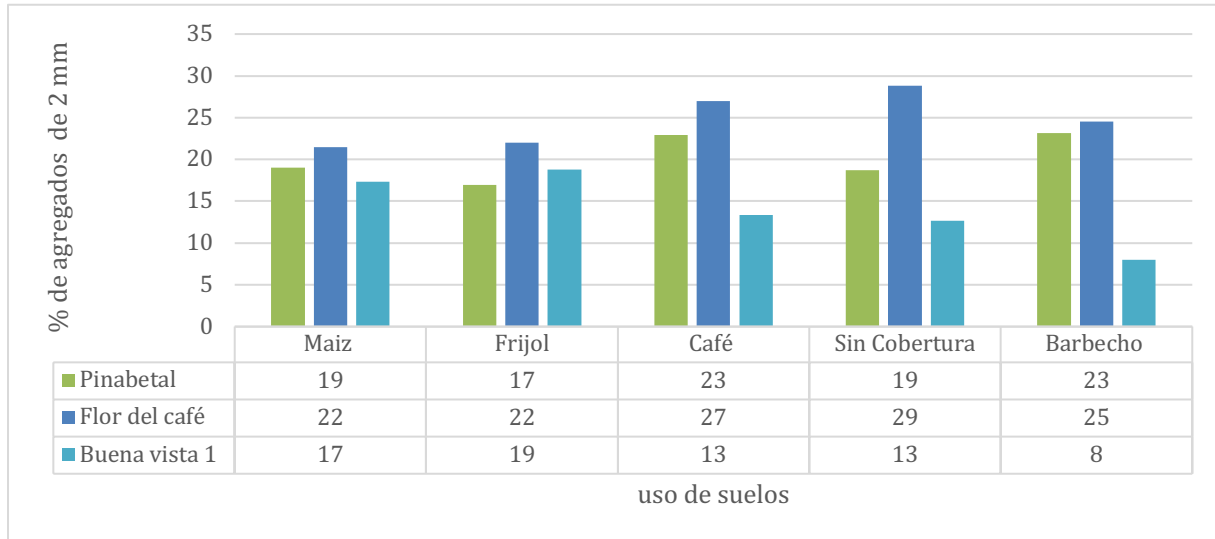


Figura 26. Distribución de agregados de 2 mm por cada uso de suelos en cada comunidad.

De igual forma la comunidad de Flor del Café, la presencia de estos agregados varía según el uso de suelo. En los usos de suelo de maíz, frijol y barbecho, representan entre el 20-25% de cada muestra, mientras que los usos de suelo de café y sin cobertura vegetal, su presencia puede llegar entre el 25-30%.

Asimismo, en la comunidad de Buena Vista 1, se observa una menor presencia de estos agregados, en los usos de suelo de maíz, frijol, café y sin cobertura vegetal, se presentan los valores que oscilan entre el 10 hasta un 20% en cada muestra de suelos, con excepción para los usos de suelos de barbecho que presenta un 8%. Es importante destacar que estos micro agregados pueden desintegrarse debido a diversos factores, como la descomposición de la materia orgánica, la dispersión de arcillas, la compactación del suelo o la erosión. Estos procesos pueden romper los enlaces entre las partículas y provocar la desintegración de los micro agregados. (Murcia, 2015).

5.3.3. Distribución de agregados de 1 mm

En la figura 27, representa la cantidad de agregados de 1 mm en cada uso suelo y en cada comunidad, los agregados de 1 mm se forman a través de la agregación de partículas finas y el entrecruzamiento de raíces y filamentos de hongos. En la comunidad de Pinabetales, se observa una baja cantidad de estos agregados. En los usos de suelo de maíz, frijol y sin cobertura vegetal, representan aproximadamente el 5-10% de cada muestra, mientras que el barbecho y café pueden estar presente hasta un 11%.

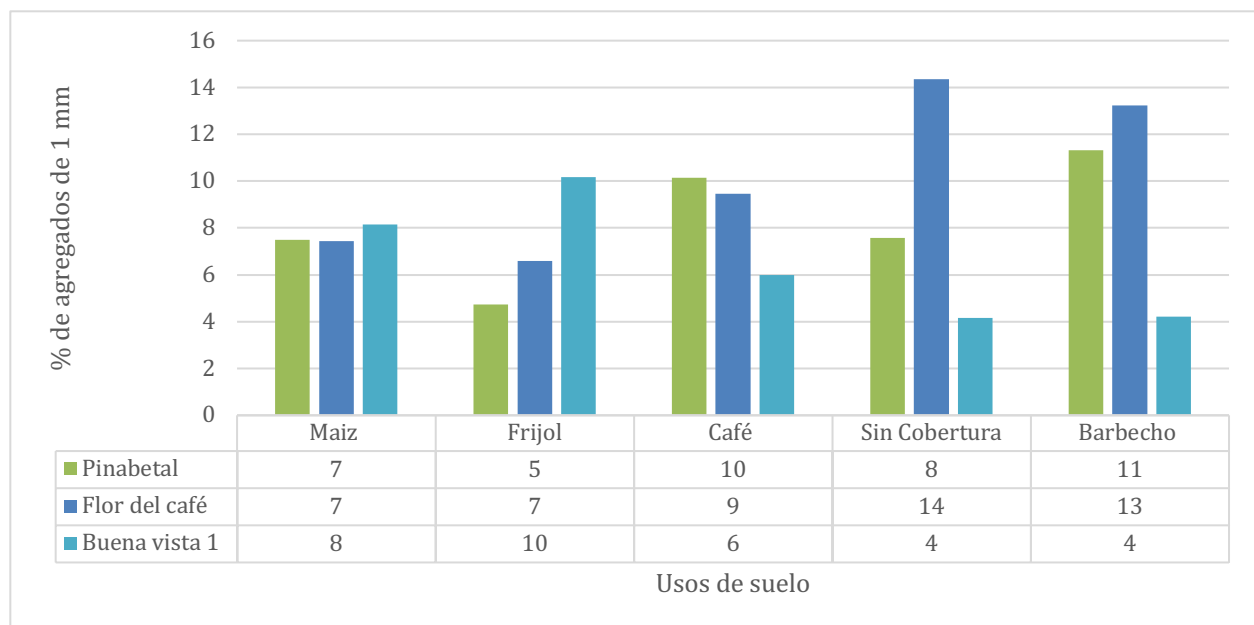


Figura 27. Distribución de agregados de 1 mm por cada uso de suelos en cada comunidad.

De igual forma la comunidad de Flor del Café, en los agregados de 1 mm están presentes en mayor proporción, en los usos de suelo de maíz, frijol y café, representan entre el 7-9% de cada muestra, en comparación con los usos de suelo sin cobertura vegetal y barbecho, donde su presencia llega hasta el 15%.

Asimismo, en la comunidad de Buena Vista 1, se observa una presencia similar de estos agregados. En los usos de suelo de maíz, café, sin cobertura y barbecho, representan aproximadamente el 4-8% de cada muestra, mientras que en el cultivo de frijol alcanzan hasta el 10% en cada muestra de suelos. Estos datos reflejan la variabilidad en la distribución de los agregados de 1 mm en diferentes comunidades y usos de suelo, lo cual puede influir en la estructura y calidad del suelo.

Distribucion de agregados de 1 y 2 mm en cada comunidad

La figura 28 presenta la cantidad de agregados de 2 mm en cada una de las comunidades. En Buena Vista 1, se puede observar una variación en la presencia de estos agregados, oscilando entre un mínimo del 8% y un máximo del 19% en cada muestra de suelo, con una media de aproximadamente el 14%.

En contraste, en la comunidad de Flor del Café, se evidencia una baja variabilidad en los datos, con un rango que va desde un mínimo del 22% hasta un máximo del 29%, y una media de alrededor del 24%. De manera similar, en Pinabetales, la presencia de estos agregados muestra una media de **alrededor del 19%, con un mínimo del 17% y un máximo del 23%.**

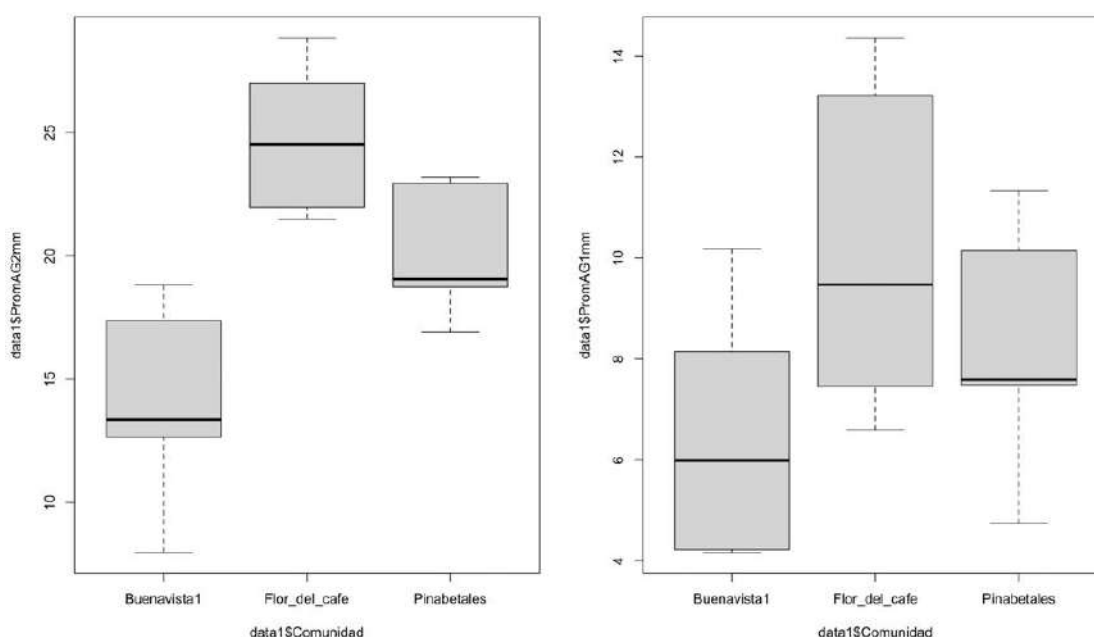


Figura 28. Distribución de agregados de 2 mm y agregados de 1 mm en cada comunidad.

Los agregados de 1 mm se encuentran en cantidades más reducidas. En la comunidad de Buena Vista 1, su presencia varía desde un mínimo del 4% hasta un máximo del 11%, con una media del 6%. En Flor del Café, estos valores oscilan entre el 7% y el 15%, con una media de alrededor del 9%. En Pinabetal, la presencia de estos agregados abarca desde el 3% hasta un máximo del 11%, y se mantienen en un rango de entre el 8% y el 10%.

Los agregados de 1 y 2 mm en cada comunidad y proporcionan la estructura del suelo. Los agregados de mayor tamaño son importantes para la formación de una estructura porosa en el suelo, lo cual favorece la infiltración de agua y el desarrollo de las raíces de las plantas. La presencia de un mayor porcentaje de agregados de 2 mm puede indicar una mayor estabilidad y calidad del suelo, lo cual facilita el crecimiento de los cultivos y la retención de nutrientes. Por otro lado, un menor porcentaje de agregados puede indicar una menor estabilidad y una estructura más compactada del suelo, es importante mantener un equilibrio, adecuado de los agregados en el suelo para promover su salud y productividad.

5.3.4. Distribución de agregados de 0.6 mm

Los agregados de 0.6 mm se encuentran en cantidades reducidas en el suelo, distribuidos de la siguiente manera (Figura 29). En Pinabetales, los usos de suelo de frijol y sin cobertura vegetal presentan entre un 5% y un 8% de estos agregados. En los usos de suelo de maíz, café y barbecho, su presencia varía entre un 10% y un 15%. En la comunidad de Flor del Café, los usos de suelo de maíz, frijol y café muestran una presencia baja, entre un 6% y un 9%. Sin embargo, en los usos de suelo sin cobertura vegetal, estos agregados pueden alcanzar hasta un 26% en cada muestra, mientras que en el barbecho representan un 14%.

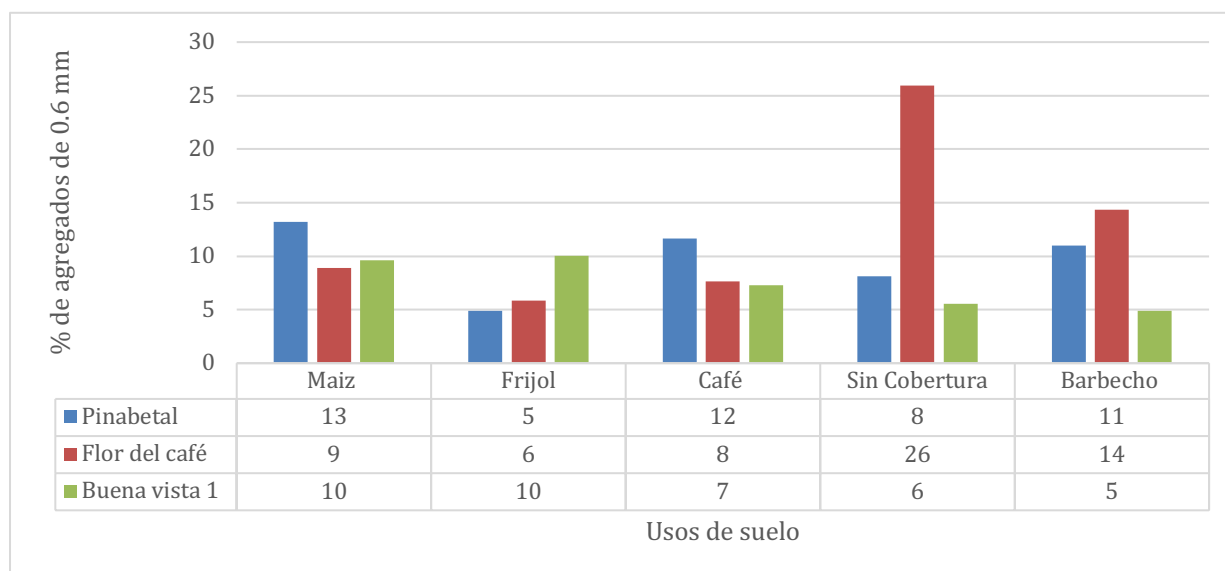


Figura 29. Distribución de agregados de 0.6 mm por cada uso de suelos en cada comunidad.

De manera similar, en la comunidad de Buena Vista 1, el uso de suelo de café, sin cobertura vegetal y barbecho presentan entre un 5% y un 7% de estos agregados, mientras que en los usos de suelo de maíz y frijol representan un 10% de cada muestra.

Es importante destacar que estos datos nos brindan información sobre la distribución de los agregados de 0.6 mm en diferentes usos de suelo y comunidades. La presencia de estos agregados puede influir en la estructura y la capacidad de retención de agua del suelo, así como en la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes.

5.4.2 Distribución de agregados de 0.6 mm y agregados de mayor a 2 mm

Los Figura 30 representan la cantidad de agregados de tamaño igual o mayor a 0.6 mm y 2 mm en diferentes comunidades. En la comunidad de Buena Vista 1, los agregados de 0.6 mm (Figura 30 a), están presentes en bajas cantidades, entre el 5% y el 10% del promedio de cada muestra de suelo, con una media de 7.5%. En Flor del Café, la presencia de estos agregados varía entre el 6% y el 15%, manteniéndose en un rango entre el 10% al 14%, aunque se ha registrado una variación de hasta el 26%. En Pinabetales, los agregados de este tamaño están presentes en una proporción que va desde el 5% al 14%, con una tendencia a en un rango entre el 9% y el 13%.

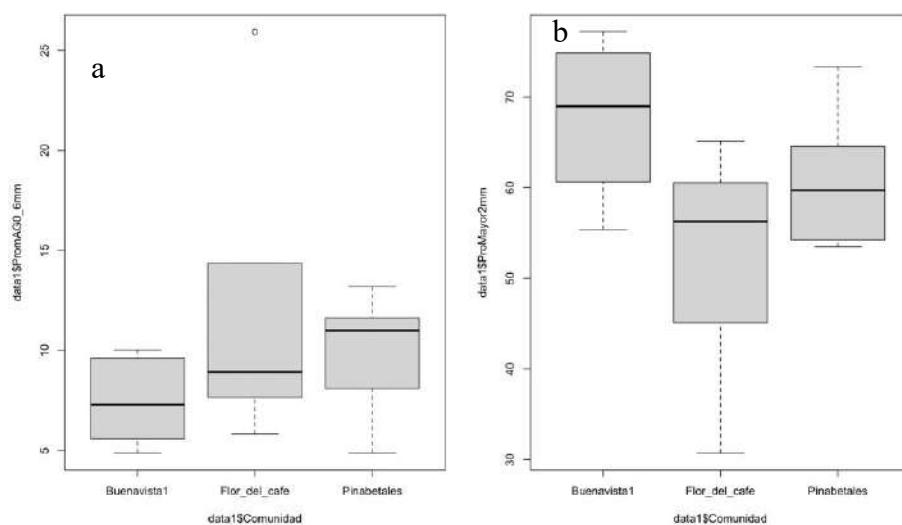


Figura 30. Distribucion de agregados de 0.6 mm (a) y agregados de mayor a 2 mm (b).

De igual forma, los agregados mayores a 2 mm (Figura 30 b), se encuentran en cantidades significativas. En la comunidad de Buena Vista 1, representan entre el 55% y el 80%, con un rango entre el 60% y 75%. En Flor del Café, la presencia de estos agregados varía entre el 30% y el 65%, con una media de 50% y un rango de entre el 55% y el 45%. En Pinabetal, los agregados de este tamaño están presentes desde el 55% hasta el 75%, manteniéndose en un rango entre el 55% y el 65%.

5.3.1. Correlación agregados de 2 mm con agregados de 1mm-0.6mm

La figura 31 representa la correlación entre los agregados de 2 mm y los agregados de 1 mm y 0.6 mm en el suelo. En el caso de la correlación entre los agregados de 2 mm y los de 1 mm, (Figura 31 a), se observa una correlación significativa. El coeficiente de correlación (r) es de 0.8277282, lo cual indica una fuerte relación positiva entre estos dos tamaños de agregados. Además, el valor de P (0.0001393) indica que esta correlación es estadísticamente significativa, lo que sugiere que es poco probable que la relación observada sea producto del azar. Por lo tanto, a medida que aumenta el porcentaje de agregados de 2 mm, también se incrementa la presencia de agregados de 1 mm en el suelo.

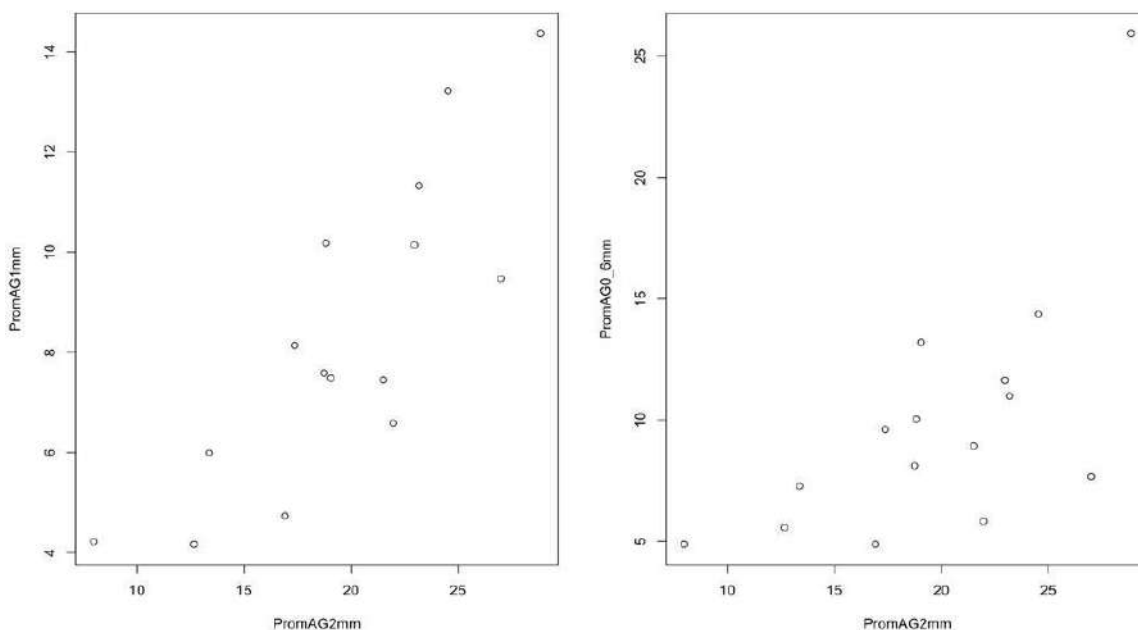


Figura 31. Gráfica de correlación entre agregados de 2 mm con agregados de 1 mm (a) y 0.6mm(b).

Por otro lado, la correlación entre los agregados de 2 mm y los de 0.6 mm (Figura 31 b), es de $r: 0.6546996$, $P: 0.008083$. Esto indica una correlación positiva moderada entre estos dos tamaños de agregados, y nuevamente, esta correlación es estadísticamente significativa.

5.3.2. Correlación agregados de 1 mm – agregados de 0.6mm

La correlación entre los agregados de 1 mm y los agregados de 0.6 mm (Figura 32), es significativa y presenta un coeficiente de correlación positivo de $r = 0.8382547$. Esto indica una fuerte relación positiva entre estos dos tamaños de agregados en el suelo. El valor de P (0.000116) también indica que esta correlación es estadísticamente significativa, lo que sugiere que es poco probable que la relación observada sea producto del azar. Los datos muestran una fuerte asociación entre los agregados de 1 mm y los agregados de 0.6 mm en el suelo.

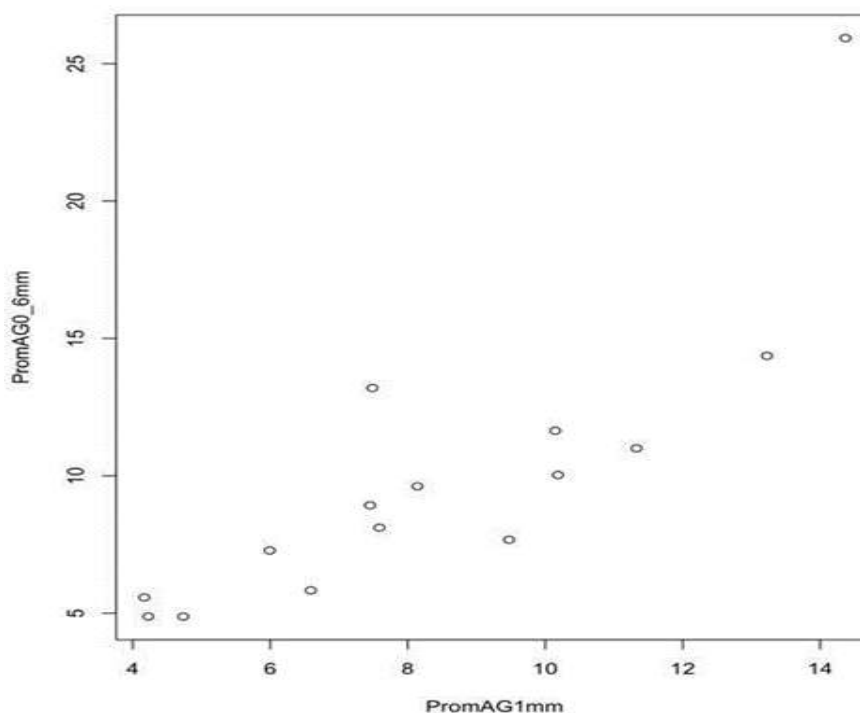


Figura 32. Correlación entre agregados de 1 mm y de 0.6 mm

Los resultados indican que cambios en el tamaño de los agregados de 1 mm pueden influir en el tamaño de los agregados de 0.6 mm y viceversa. Esta relación podría estar relacionada con

procesos de agregación en el suelo, como la interacción entre partículas y la actividad biológica, que afectan de manera conjunta ambos tamaños de agregados.

5.4. Estabilidad de agregados del suelo al contacto con el agua

En base a los datos de la investigación, se identifica la estabilidad de los diferentes usos de suelo en las tres comunidades de la siguiente manera (Figura 33). En Pinabetales, se puede observar una sólida estabilidad en los usos de suelo de maíz, frijol, café y barbecho, con valores equilibrados que se sitúan en un rango favorable, entre el 56.71% y el 66.85%. Esto sugiere que, en esta comunidad, estos cultivos han contribuido a mantener una estructura del suelo resistente a la desagregación. Sin embargo, el uso de suelo sin cobertura vegetal muestra una estabilidad relativamente más baja, alcanzando un 40.90%, indicando una mayor vulnerabilidad en su estructura.

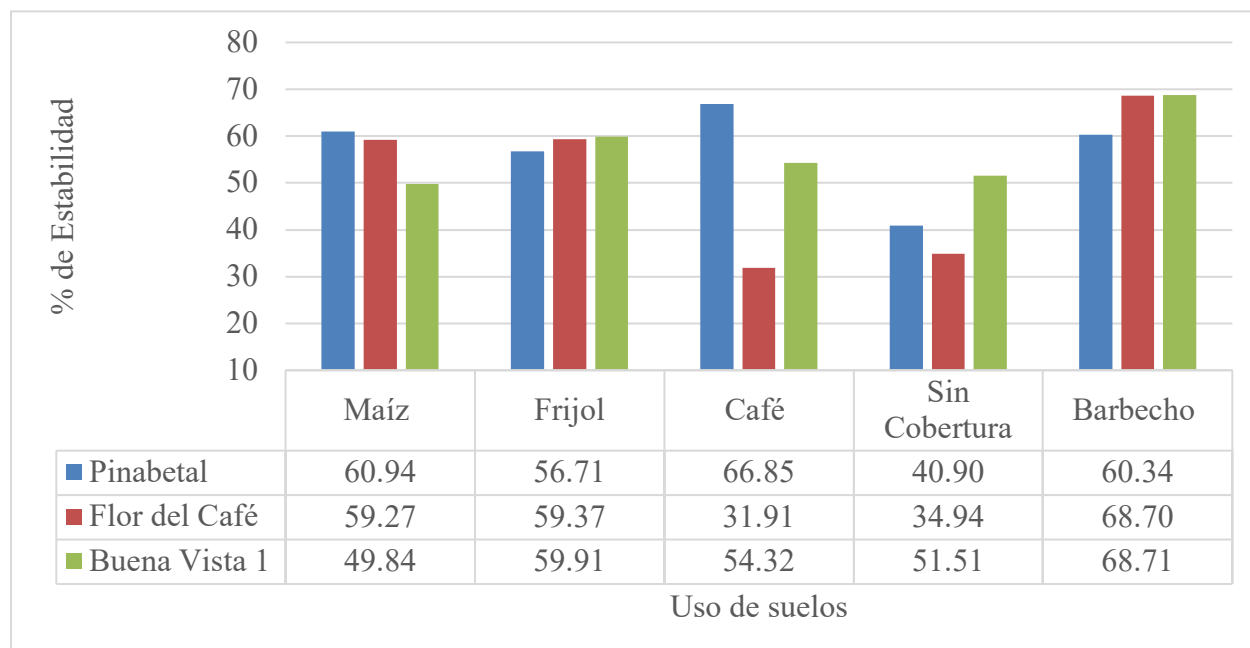


Figura 33. Promedio de estabilidad de cada uso de suelos y en cada comunidad.

En la comunidad de Flor del Café, la estabilidad de los diferentes usos de suelo presenta una mayor variabilidad, los usos de suelo de maíz y frijol exhiben una estabilidad cercana al 59%, lo cual es indicativo de una estructura del suelo en buenas condiciones. Por otro lado, en los usos de suelo

de café y sin cobertura vegetal debido a la topografía del terreno al ser cultivos de ladera, presenta una estabilidad más baja que oscila desde 30-35%, esto se ve reflejado una menor resistencia a la desagregación al entrar en contacto con el agua. En el uso de suelos en barbecho muestran una estabilidad, con un valor de 68-70%.

Asimismo, en la comunidad de Buena Vista 1, se observa una estabilidad moderada en la estructura del suelo, en los usos de suelo de maíz, frijol, café y sin cobertura vegetal, con valores de estabilidad que varían entre el 49.84% y el 59.91%. Esto sugiere una resistencia razonable a la desagregación del suelo, por otro lado, el uso de suelo de barbecho muestra una estabilidad alta del 68.71%, indicando una estructura sólida y resistencia a la segregación en las partículas del suelo.

Los datos revelan que la estabilidad de los diferentes usos de suelo varía entre las comunidades. Los cultivos de maíz y frijol suelen presentar una estabilidad relativamente alta, mientras que el uso de suelo de café y sin cobertura vegetal tienden a mostrar una menor estabilidad. El barbecho, por su parte, puede presentar tanto una alta estabilidad como una estabilidad moderada dependiendo de la comunidad. existen otras condiciones que se toman en cuenta para poder definir la estabilidad de cada uso de suelos, como la cantidad de materia orgánica presente en cada utilidad, pH, densidad aparente, retención de agua, presencia de micro y macro nutrientes, antecedentes y en manejo agronómico.

La estabilización de agregados también se ve mejorada con la adición de materia orgánica, pues intervienen agentes cementantes orgánicos que favorecen la formación de macro y micro agregados. Estos agregados aumentan la estabilidad del suelo. (Soto, 2011).

5.4.1. Variabilidad del diámetro medio ponderado.

La variabilidad del diámetro medio ponderado (DMP) (Figura 34), en cada comunidad ofrece información significativa sobre la estabilidad presente en cada una de ellas. En la comunidad de Buena Vista 1, se observa un rango de valores de DMP que fluctúa entre 0.5 y 0.7. Esta variación en el DMP se traduce en una estabilidad promedio del suelo de alrededor del 57%. En Pinabetales, el DMP varía en el rango de 0.6 a 0.55, resultando en una estabilidad promedio más alta, alcanzando aproximadamente el 65%. En la comunidad de Flor del Café, el DMP muestra una variación más amplia, abarcando desde 0.1 hasta 0.07, lo cual se refleja en una estabilidad promedio que oscila entre el 30% y el 50%.

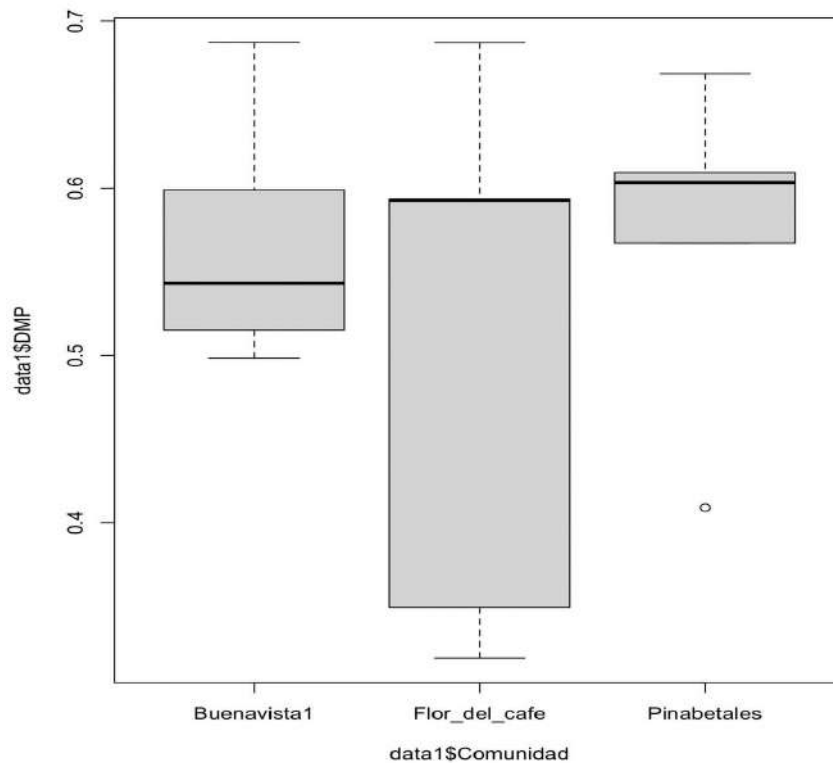


Figura 34. Diámetro medio ponderado en cada comunidad

5.5. Análisis de componentes principales.

En el análisis de Componentes Principales (ACP), la Figura 35 refleja la elección de los componentes principales. Para llevar a cabo dicha selección, se optó por aquellos componentes cuyos valores propios superaran el valor de 1. En este proceso, se lograron identificar un total de 14 componentes. Sin embargo, únicamente 5 de estos componentes cumplían con los criterios requeridos (Anexo 5). Los cuales representan el 89.92% de datos de la investigación y se dividen de la siguiente manera.

El primer componente muestra un valor propio de 4.2 e involucra a los agregados de 2mm, 1mm y 0.6mm, que en conjunto representan el 30.11% de la variabilidad total observada. Esto se relaciona con el tamaño y la distribución de los agregados en el suelo. Por otro lado, el segundo componente, con un valor propio de 3.6 y una varianza del 26.35%, está compuesto por la materia orgánica, pH, calcio y el magnesio. Este componente influye en el proceso de formación y adición de agregados en el suelo.

En cuanto al tercer componente, que incluye la densidad aparente y la porosidad del suelo, posee un valor propio de 2.17 y contribuye con el 15.56% de la varianza total observada. Este componente incide en procesos de intercambio de gases en el suelo y la capacidad del suelo para retener agua, aire y nutrientes. De manera similar, el cuarto componente, con un valor propio de 1.37 y una varianza de 9.79%, se compone principalmente de materia orgánica, fósforo y potasio. Esta relación incide en la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad del suelo para retener y liberar fósforo.

Por último, el quinto componente presenta un valor propio de 1.13 y una varianza total observada del 8.10%. Este componente está formado de nitrógeno y potasio y está relacionado con procesos como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la producción de biomasa en el suelo.

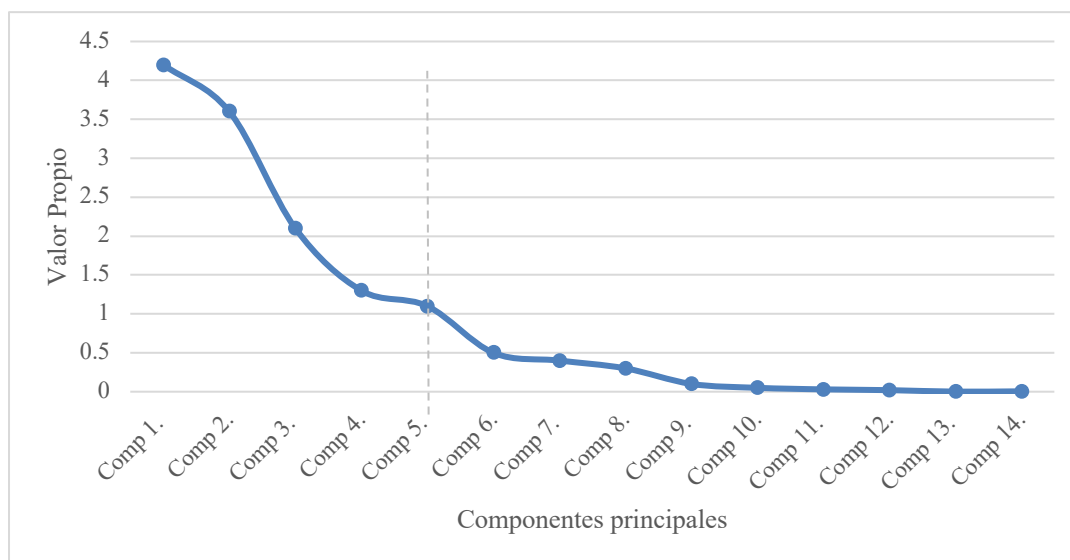


Figura 35. Gráfico de sedimentación de valor Propio de componentes Principales en estudio de Estabilidad de agregados en el suelo.

En la figura 36 representa la variabilidad, relación y dispersión de los componentes principales PC1 Y PC2 en cada comunidad.

En la comunidad de Pinabetales, se puede observar una menor dispersión en los datos. Dentro de las relaciones identificadas entre los Componentes Principales, se destaca la presencia del nitrógeno presenta en bajas concentraciones en los usos de suelos en barbecho y sin cobertura, también presenta una relación con el diámetro medio ponderado y la densidad aparente con la porosidad del suelo.

Asimismo, en Buena Vista 1 la dispersión de los datos es mayor a la anterior, con la relación entre los agregados de 2 mm con los de 0.6 mm, la presencia de agregados mayor a 2 mm está en el uso de suelos de barbecho.

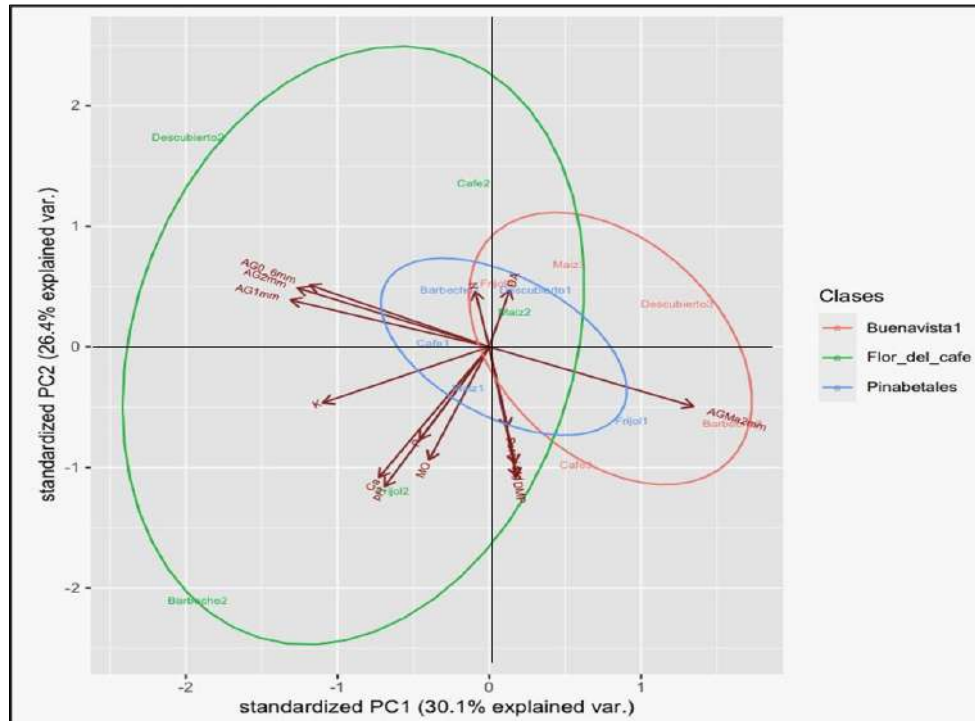


Figura 36 Dispersión de componentes principales PC1 – PC2 por comunidad.

Finalmente, en la comunidad Flor del Café los datos son más extensos y la relación entre los componentes es más amplia, los agregados de 2mm, 1mm y 0.6mm están relacionados con los agregados mayores a 2mm, calcio, fósforo, pH y materia orgánica, se observó mayor variabilidad, en el uso de suelo frijol, también presento mayor variabilidad en las cantidades de potasio y en el diámetro medio ponderado lo que se reflejó en la estabilidad de cada uso de suelo.

VI. CONCLUSIONES

La distribución del tamaño de agregados se distribuye de siguiente manera: Los agregados de más de 2 mm, representando en promedio entre el 60 % y el 75 % de cada muestra. Los agregados de 2 mm constituyen entre el 10 % y el 20 % de la muestra. Los agregados de 1 mm están presentes del 5 % al 15 %, mientras que los agregados de 0,6 mm tienen una presencia del 5 % , con un máximo de 26 %.

Los suelos más estables son los de Pinabetal, en los usos de suelo de maíz, frijoles, café y barbecho presentan una estabilidad de 57-75%, el uso de suelos sin cobertura vegetal presenta una estabilidad del 40%. En la comunidad de Buena vista 1, presenta una estabilidad que oscila entre el 50-70%, los suelos de Flor del Café presentan una baja estabilidad, al ser una zona productora de frijoles, sus suelos están muy deteriorados, en los usos de suelo de maíz y frijol presentan una estabilidad del 60%. Pero en los usos de suelo de café y sin cobertura vegetal presentan una estabilidad del 30-35%, esto se debe a las condiciones físicas que presenta en cultivo de café, con una pendiente superior al 70%, al ser un suelo sin cobertura vegetal está más susceptible a la erosión hídrica.

La formación y la estabilidad de los agregados están influenciadas por varios factores físicos y químicos. Entre ellos se destaca las bajas cantidades de materia orgánica que oscilan desde 2.04 hasta 3.5, un pH de 5.5 fuertemente ácido hasta 6 ligeramente ácidos, con una densidad aparente que oscila desde 1.2 hasta 1.6, y una porosidad promedio de 45 a 50%.

El cultivo de café y frijol proporcionan un ambiente propicio en los procesos de formación y agregación del suelo debido a su naturaleza perenne en el cultivo de café, debido a su cobertura vegetal, favoreciendo a la retención de humedad proporciona mayores cantidades de materia

orgánica, emerge como un factor influyente en la mejora de la formación de agregados en el suelo. La presencia de agentes ligantes, tanto transitorios como temporales, encuentra en el cultivo de café un ambiente propicio para su desarrollo, contribuyendo así a la consolidación de estructuras agregadas estables.

VII. RECOMENDACIONES

Dado que la estabilidad del suelo es un factor clave en su salud y productividad, se recomienda un análisis exhaustivo de las prácticas de manejo utilizadas por cada comunidad. Esto permitirá identificar estrategias específicas para mejorar la estabilidad del suelo, especialmente en regiones donde se han observado disminuciones significativas en la estabilidad del suelo. Se recomienda implementar medidas de conservación tales como terrazas, técnicas de labranza mínima y promoción de la cubierta vegetal en áreas propensas a la erosión, teniendo en cuenta las especificidades de cada comunidad.

Para promover la formación y estabilidad de los agregados en el suelo, se recomienda un análisis detallado de estos factores en cada caso específico. Con base en esta evaluación, se pueden implementar estrategias de manejo adecuadas, como la incorporación de materia orgánica, el ajuste del pH y las medidas de conservación del suelo. Abordar estos factores de manera integral ayudará a mejorar la salud y la resiliencia del suelo, evitando las malas prácticas agrícolas como la quemas no controladas.

Para optimizar la formación de agregados y promover la estabilidad del suelo, se recomienda promover y expandir las prácticas de cultivo de café en las áreas relevantes. Sin embargo, se requiere una gestión cuidadosa y sostenible, que incluya el uso de técnicas de conservación del suelo, una gestión adecuada de la materia orgánica y un seguimiento continuo de la salud del suelo. Asimismo, se recomienda dejar el rastrojo después de la cosecha, o incorporar abonos verdes con la siembra de cultivos como la canavalia, proporcionando una cubierta vegetal al suelo.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Castillo, E. M., Serrano, R., & Novak, K. (2007). Cuantificación de los gradientes climáticos altitudinales en la vertiente norte del masivo del Moncayo. Zaragoza, España.
- Ciancaglini, N. (2009). Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. Obtenido de http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf
- Climagri. (2014). Obtenido de <http://climagri.eu/index.php/es/cobertura-vegetal>
- Crouse, C. M. (18 de Julio de 2023). Soils Laboratory Manual // Kansas State University . Kansas , Estados Unidos .
- Delgadillo, L. f., & Martínez, J. A. (2010). Manual de procedimientos analíticos / Universidad autónoma de México. México.
- Docampo, R. (2014). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. Canelones, Uruguay. Obtenido de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/128221131113111309.pdf>
- Dubon, S. M. (Noviembre de 2014). Caracterización física y química de los suelos cultivados con palma aceitera. Catacamas , Honduras .
- Encina, A. (2008). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5654360.pdf>
- FAO. (2018). Bogotá, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>

- FAO. (2023). Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=En%20general%20el%20volumen%20del,gases%20pueden%20circular%20o%20retenerse.>
- FHIA. (OCTUBRE de 2011). GUÍA SOBRE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. La lima , Cortes , Honduras .
- Fruticula. (27 de Septiembre de 2017). *Portal fruticula*. Obtenido de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/27/edafologia-problemas-de-suelo-que-son-limitantes-para-el-adecuado-desarrollo-de-las-plantas/>
- G.J, A. (9 de mayo de 2019). *Macronutrientes del suelo*. Obtenido de Fertobox analisis agricolas : <https://www.fertibox.net/single-post/macronutrientes-del-suelo>
- Gacitua, E. V., & Lagos, J. M. (2020). Magnesio disponible y fertilizacion en suelos de la region de los Rios. *Instititu de investigaciones agropecuarias (INAI) // ministerio de agricultura*. Chile.
- IICA, R. S. (2012). Obras de conservación de suelos y agua en laderas. Proyecto Red SICTA del IICA/Cooperación Suiza en América Central. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11847>
- Jaramillo, D. F. (2002). Introduccion a la ciencia del suelo /Universidad Nacional de Colombia Facultad de ciencias de Medellin . Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jiménez, A. S., Salazar, L. A., & Sánchez, N. A. (2018). Variabilidad espacial de la densidad aparente del suelo de lote en café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé*. colombia .
- Juncal, A., & Meneses, I. (abril de 2006). la materia organica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Chile.
- Luters, A., & Salazar, J. C. (Julio de 2011). Guía para la evaluacion de la calidad y salud del suelo. Argentina.

- Martines, A. J. (2018). formación de agregados de suelo en interacción suelo-raíz microorganismos endofitos: micromorfología y análisis de imágenes . Texcoco , Mexico .
- Morra, B. B., A, H. J., & Bisaro, V. (Marzo de 2005). Modificaciones de la microestructura y la materia orgánica en un Argiudol bajo distintas condiciones de cultivo y conservación. Rosario, Argentina. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v23n1/v23n1a01.pdf>
- Murcia, U. (2015). La edafosfera. Murcia, España. Obtenido de https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-may25-45/tema_6.pdf
- Najar, S. S. (2019). Estabilidad de agregados en suelos agrícolas. Hidalgo, México. Obtenido de https://congresos.cio.mx/15_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S1/S1-FMCT08.pdf
- Perez, C. O. (mayo de 2008). “Modificación de la capacidad de Intercambio Catiónico a través de la aplicación de. BUENAVISTA SALTILLO COAHUILA, Mexico. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5124/T16700%20%20PEREZ%20ROBLERO,%20CELIN%20OSVALDO%20%20TESIS%20%20T16700.pdf?sequence=1>
- Raudes, M., & Sagastume, N. (septiembre de 2009). Manual de conservación de suelos / Escuela Agrícola Panamericana, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria El Zamorano. Zamorano, Honduras. Obtenido de https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conservacion_de_Suelos..pdf
- Rojas, J. M., & Peña, E. S. (2012). Densidad aparente / comparación de métodos de determinación en ensayo de simbre directa. Argentina. Obtenido de https://www.fermojica.com/sca/documentos/densidad_aparente.pdf
- Rueda, L. V. (Noviembre de 2006). Ecología y medio ambiente / Universidad Nacional Agraria , Facultad de los Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua.
- Salazar, L. a., & Quintero, A. F. (2020). Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera Colombia. Colombia.

- Sandoval, J. T. (Noviembre de 2021). Analisis morfologico y biofisico en la microcuenca del Rio talgua, Honduras. Catacamas, Honduras. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1214/1662>
- Santos, R. D., & Shimizu, S. H. (2015). *Manual de descripcion de suelos en campo*. Brasil.
- Sepulveda, T. V., Juan A, V. T., & Perez, D. A. (mayo de 2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides*:. Distrito federal, distrito federal , mexico .
- Solorio, C. A. (2019). *EDAFOLOGIA* . Mexico : Trillas S.A .
- Soto, M. S. (2011). Efecto de la materiaorganica en el suelo. *Universidad politecnica de valencia*. Valencia, España.
- Tecnal. (junio de 2019). *Tecnal*. Obtenido de https://tecnal.com.br/es/blog/308_determinacion_de_la_estabilidad_de_los_agregados_de_l_suelo
- Zeitun, E. L. (2011). Concepto de ladera urbana.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta de antecedentes de las parcelas.



ENCUESTA

1. Nombre del propietario: _____ Fecha: _____

2. Lugar: _____

3. Área total: _____ Cultivo: _____ Variedad: _____

4. Etapa fenológica: _____ Producción: _____

5. Manejo técnico: _____

6. Antecedentes: _____

7. Teléfono. _____

1. _____

2. Teléfono. _____

Laboratorio Químico Agrícola
Resultados e Interpretación de Análisis de Suelos

Ciente	Universidad Nacional de Agricultura (UNA)	Solicitud #	45970-5
Dirección del cliente ¹	Catacamas, Olanchito	Factura #	16780
Procedencia de la muestra ¹	Catacamas, Olanchito	Informe #	063/23
Cultivo ¹	Frijol	Laboratorio #	115
Entregado por ¹	Yader Gonzales	Fecha de Ingreso	2023-01-31
Identificación ¹	Romelo Lopez, Pinabetal, Muestra 5, Barbecho	Fecha de Informe	2023-03-01
Condiciones de la muestra ¹	Cantidad suficiente, envase adecuado suministrado por el cliente.	Fecha de ejecución	2023/01/31 al 2023/02/27

¹ Información suministrada por el cliente

		Unidad	Rango Adecuado		Unidad	Rango Adecuado	INTERPRETACIÓN	
pH	5.62		5.01 ~ 6.80	Hierro (Fe)	48.60	mg/kg	5.01 ~ 15.00	ALTO
Materia orgánica (M. O)	3.17	%	3.01 ~ 5.00	Manganeso (Mn)	18.71	mg/kg	2.01 ~ 10.00	NORMAL
Nitrógeno total (N. T)	0.16	%	0.21 ~ 0.50	Cobre (Cu)	1.06	mg/kg	0.51 ~ 1.00	BAJO
Fósforo (P)	4.00	mg/kg	10.01 ~ 20.00	Zinc (Zn)	1.71	mg/kg	1.01 ~ 5.00	
Potasio (K)	80.50	mg/kg	98.01 ~ 234.00	Boro (B)			0.51 ~ 8.00	
Calcio (Ca)	2,194.00	mg/kg	800.01 ~ 6,000	Azufre (S)			19.01 ~ 80.00	
Magnesio (Mg)	315.00	mg/kg	150.01 ~ 250.00	Aluminio intercambiable (Al)			< 0.50	

Métodos

K, Ca, Mg: Extracción con Acetato de NH_4 a pH 4.8, determinados por EAA / P: Extracción con Acetato de NH_4 a pH 4.8, determinado por colorimetría Fe, Mn, Cu, Zn: Extracción con DTPA a pH 7.3, determinado por la EAA

pH: en agua 1:2 / Materia Orgánica: Walkley & Black / % N.T: 5% de M.O / B y S: Extracción con fosfato de Calcio, determinados por colorimetría / Al: Extracción con KCl 1N, determinado por titulación

Recomendación de fertilización sugerida:

Dosis en Kilogramos por Hectárea:

Nitrógeno (N) 50

Fósforo (P_2O_5) 48Potasio (K₂O) 88

20 días después de germinación aplicar 161 lb/mz de 18-46-0

40 días después de germinación aplicar 143 lb/mz de Nitrato de Amonio mas 226 lb/mz de Cloruro de Potasio

Via foliar aplicar 3 cc de Zinc quelatado por litro de agua, realizar 2 aplicaciones


Marcos Pedille, Ing. Sc.
Jefe del Laboratorio Químico Agrícola

CB / Solicitud # 45970-5 / Frijol

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las conficiones de muestra recibidas en las instalaciones del Laboratorio Químico Agrícola de la RHA.

Anexo 3. Tablas de análisis de componentes principales.

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9	Comp.10
	4.2164369581	3.6896400015	2.1786603962	1.3709158748	1.1341760537	0.4542264998	0.4440936144	0.2961145556	0.1025250617	0.0563953429
	Comp.11	Comp.12	Comp.13	Comp.14						
	0.0312386422	0.0233180742	0.0017372046	0.0005217203						
> #CUARTO PASO Tabla de resultados										
> summary(data2,loadings=TRUE)										
Importance of components:										
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9	Comp.10
Standard deviation	2.0533964	1.9208436	1.4760286	1.17086117	1.06497702	0.67396328	0.66640349	0.54416409	0.320195349	0.237477036
Proportion of Variance	0.3011741	0.2635457	0.1556186	0.09792256	0.08101258	0.03244475	0.03172097	0.02115104	0.007323219	0.004028239
Cumulative Proportion	0.3011741	0.5647198	0.7203384	0.81826095	0.89927352	0.93171827	0.96343924	0.98459028	0.991913501	0.995941740
	Comp.11	Comp.12	Comp.13	Comp.14						
Standard deviation	0.176744568	0.152702568	0.041679787	2.284120e-02						
Proportion of Variance	0.002231332	0.001665577	0.000124086	3.726574e-05						
Cumulative Proportion	0.998173071	0.999838648	0.999962734	1.000000e+00						

Anexo 4. Valores de Componentes principales de propiedades Químicas.

	MO	pH	Ca	Mg	N	P	K	AG2mm	AG1mm	AG0_6mm	AGMa2mm	DA	Porosidad	DMP
Maiz1	4.52	5.73	3257	323.0	0.23	9	123.30	19.053333	7.485000	13.195000	59.73000	1.30	45.40	0.6094
Frijol1	4.93	5.71	2688	322.5	0.25	6	52.95	16.916667	4.733333	4.875000	73.32833	1.23	51.42	0.5671
Cafe1	5.94	5.30	2790	225.5	0.30	6	87.20	22.960000	10.145000	11.640000	54.21500	1.16	48.96	0.6685
Descubierto1	4.21	5.73	3282	270.5	0.21	4	74.65	18.741667	7.586667	8.111667	64.53167	1.37	41.78	0.4090
Barbecho1	3.17	5.62	2194	315.0	0.16	4	80.50	23.181667	11.328333	11.000000	53.47667	1.35	41.27	0.6034
Maiz2	3.90	5.72	2634	275.5	0.20	4	90.70	21.506667	7.451667	8.925000	60.53667	1.45	43.45	0.5927
Frijol2	3.77	6.82	5738	262.5	0.19	20	236.95	21.966667	6.588333	5.830000	65.11500	1.30	46.05	0.5937
Cafe2	2.33	5.29	1878	250.5	2.33	4	61.90	26.996667	9.473333	7.671667	56.26167	1.12	51.28	0.3191
Descubierto2	3.58	5.56	1576	230.0	0.18	4	167.70	28.855000	14.366667	25.933333	30.72333	1.39	40.93	0.3494
Barbecho2	6.54	7.54	17382	340.5	0.33	8	150.00	24.533333	13.226667	14.365000	45.08167	1.11	53.38	0.6870
Maiz3	2.33	5.33	1845	240.5	0.12	4	37.00	17.370000	8.140000	9.616667	60.62667	1.21	49.79	0.4984
Frijol3	2.04	5.56	2276	224.5	0.10	8	65.60	18.825000	10.185000	10.030000	55.34833	1.28	48.16	0.5991
Cafe3	5.28	6.22	4014	389.0	0.26	6	95.25	13.370000	5.990000	7.281667	68.96167	1.32	47.86	0.5432
Descubierto3	4.27	5.73	3174	268.5	0.21	2	31.95	12.666667	4.166667	5.573333	74.84500	1.54	36.86	0.5151
Barbecho3	2.95	5.45	2736	288.5	0.15	4	36.50	7.978333	4.223333	4.878333	77.19000	1.10	55.45	0.6871

Anexo 5. Selección de Componentes principales con valor propio mayor a 1.

Loadings:														
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8	Comp.9	Comp.10	Comp.11	Comp.12	Comp.13	Comp.14
MO	0.131	0.330	0.141	0.348	0.187	0.149	0.748	0.236			0.130	0.164		
pH	0.227	0.408	0.100		0.214	0.180	-0.373	0.115		-0.121		0.229	0.676	
Ca	0.239	0.381		0.168	0.145	0.434	-0.344	0.141	-0.125			-0.381	-0.501	
Mg		0.340		0.289	0.393	-0.671	-0.143	-0.355	0.116			-0.112		
N		-0.162	-0.448	-0.149	0.570	0.115	0.132	-0.242	-0.531		0.155	0.135		
P	0.151	0.271		-0.652	-0.120	-0.121	0.112		0.121	0.300	0.542	-0.175		
K	0.361	0.163	0.166	-0.408		-0.261	0.127	0.120	-0.260	-0.135	-0.570	0.256	-0.266	
AG2mm	0.417	-0.172			0.142	0.127	0.238	-0.365	0.392	-0.414	-0.148	-0.426	0.133	
AG1mm	0.432	-0.137	-0.101	0.196	-0.132		-0.167	-0.243	0.243	0.371		0.453		0.477
AG0_6mm	0.390	-0.181		0.248	-0.180	-0.328		0.289	-0.456		0.196	-0.358	0.275	0.266
AGMa2mm	-0.444	0.174		-0.147	0.118						-0.225	-0.184	0.159	0.781
DA		-0.166	0.613		0.178	0.124		-0.135	-0.113	-0.457	0.401	0.220	-0.222	0.198
Porosidad		0.234	-0.567		-0.179	-0.203		0.211	0.102	-0.572	0.256	0.225	-0.141	0.175
DMP		0.379		0.120	-0.506	0.156	0.135	-0.606	-0.388				0.104	

Anexo 6. Diferencias en parcela sin cobertura vegetal (A) y con cobertura vegetal (B), en parcela de frijoles en la comunidad de Flor del Café.



Anexo 7. Derrumbes en la comunidad de Flor del Café.



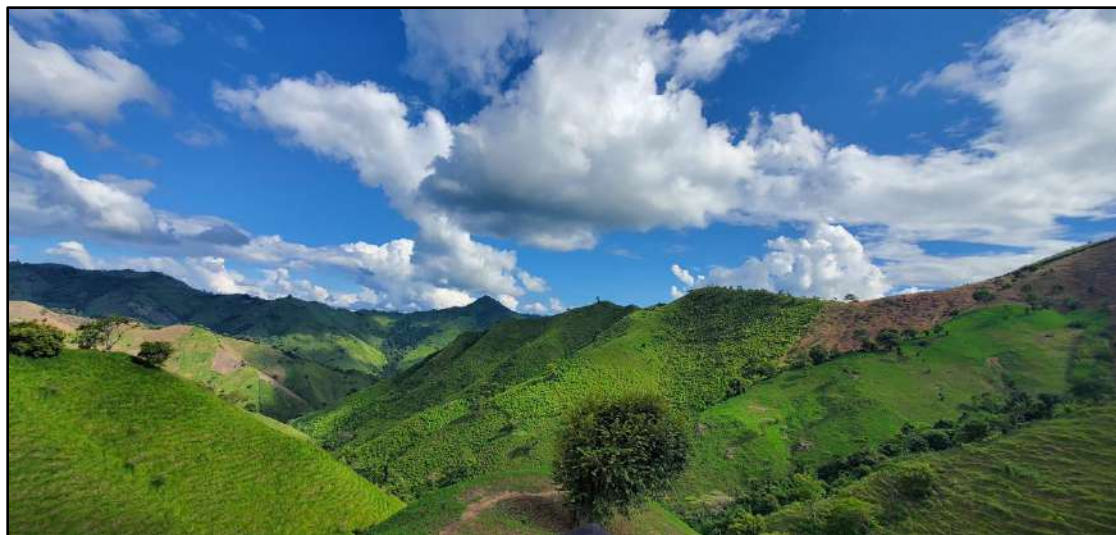
Debido a las altas precipitación y disturbios atmosféricos en la zona afectan algunas partes de la comunidad y hay desprendimientos de suelos inestables.

Anexo 8. Interpretación de resultados de análisis de la FHIA a los productores de cada comunidad.



Se socializo con los productores Maximino Núñez, Romelio López y Santiago Álvarez, quienes participaron en la investigación, los análisis de fertilidad, demostrando las condiciones de cada uso de suelo y los requerimientos para cada cultivo.

Anexo 9. Cultivo de frijoles en comunidad de Buena Vista 1.



Anexo 10. Pruebas de salud del suelo, en los usos de suelo en Barbecho y Sin Cobertura vegetal en la comunidad de Flor del Café.



En el Anexo 9. Se muestra una parcela de frijoles, del señor German Ponce, con un manejo adecuado en las prácticas agrícolas sostenible y un manejo adecuado de materia orgánica

En el Anexo 10. Se demuestra la importancia de la cobertura vegetal en el suelo, a la izquierda se muestra un suelo en Barbecho, en el cual las partículas del suelo se mantienen adheridas entre si. A la derecha es un suelo sin cobertura vegetal se puede observar que las partículas al estar en contacto con el agua se van desintegrando.

Anexo 11. Preparación de muestras para pruebas de estabilidad con el Equipo Yoder.



En el Anexo 11. Se muestra la preparación de muestra para pruebas de Estabilidad, las cuales fueron debidamente pesas a una cantidad de 25g cada una.

Anexo 12. Funcionamiento del Equipo Yoder.



Anexo 12. Demuestra el movimiento de oscilación que es producido por el Equipo Yoder, para pruebas de Estabilidad de suelos.

Anexo 13. Parcelas establecidas con maíz en la comunidad de Flor del Café.

Parcela con uso de suelos de maíz del señor Maximino Núñez.

