

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN SUELOS DE
LADERA BAJO DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS EN LA CUENCA DEL
RÍO TALGUA, CATACAMAS, OLANCHO

POR:

JOSÉ LISANDRO PONCE MEDINA

INFORME FINAL DE TESIS DE GRADO



CATACAMAS

OLANCHO

ENERO, 2024

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN SUELOS DE
LADERA BAJO DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS EN LA CUENCA DEL
RÍO TALGUA, CATACAMAS, OLANCHO

POR:

JOSÉ LISANDRO PONCE MEDINA

PhD. JOSÉ TRINIDAD REYES SANDOVAL

Asesor Principal

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS
NATURALES

CATACAMAS

OLANCHO

ENERO, 2024

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Los suscritos miembros del Comité Evaluador del Informe Final de la Tesis de investigación certificamos que:

El estudiante **JOSE LSANDRO PONCE MEDINA** del IV Año de Ingeniería en gestión integral de los recursos naturales presentó su informe intitulado:

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

El cual, a criterio de los evaluadores _____ 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 noviembre 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
Zelaya**

Asesor Auxiliar

M.Sc. Carlos Roberto Irías

Asesor Auxiliar

DEDICATORIA

En humildad y gratitud, dedico esta tesis a Dios, fuente de sabiduría y guía en mi camino académico. Con su divina luz, he encontrado inspiración y fortaleza para completar este trabajo. En su infinita bondad, confío que estas investigaciones sean de utilidad para la comunidad. A Él dedico este logro. Amén.

A mis padres **Omar Ponce** y **Leydi Callejas**, mi fuente inagotable de amor, apoyo y sabiduría, les dedico este trabajo. Su inquebrantable fe en mí y sus sacrificios han sido mi mayor inspiración. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha guiado mi camino. Este logro es suyo tanto como mío. Los amo con todo mi corazón.

A mi amado abuelo José Ponce, fuente de sabiduría y cariño. Tu legado de perseverancia y valores perdurará en mi vida y en este trabajo. Siempre estarás en mi corazón.

A mi querida familia, pilar de mi vida. Su amor incondicional, apoyo constante y comprensión han sido mi mayor fortaleza. Cada logro es un reflejo de nuestro vínculo inquebrantable. Gracias por estar siempre a mi lado

AGRADECIMIENTO

A Dios por la sabiduría y la guía que me has proporcionado a lo largo de este trabajo de investigación. Sin tu luz y dirección, no hubiera sido posible completarlo. Te doy gracias por la oportunidad de aprender y crecer a través de este proceso.

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
CONTENIDO	6
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ANEXOS	11
RESUMEN.....	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivos General.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
III. HIPÓTESIS.....	16
3.1. Hipótesis nula	16
3.2. Hipótesis alternativa	16
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
4.1. Suelos de Honduras.....	17
4.1.1. Características generales de los suelos de Honduras	17
4.1.2. Importancia de la cuenca del río Talgua en el contexto de los suelos en Honduras	18
4.2. Formación y estructura de agregados	18
4.2.1. Bioagregación del suelo y estabilidad de agregados.....	18
4.2.2. Procesos y mecanismos de agregación de formación de agregados	20
4.2.3. Estructura y agregación del suelo	20

4.2.4. Interacciones bióticas en la formación de agregados al suelo	21
4.3. Factores que influyen en la formación de agregados	22
4.3.1. La materia orgánica del suelo	22
4.3.2. Efecto del uso del suelo a la formación de agregados	23
4.3.3. Agentes de agregación al suelo.....	23
4.4. Evaluación de estabilidad de los agregados	24
4.4.1 Métodos de evaluación de la estabilidad de agregados	24
4.4.2 Métodos directos y su aplicabilidad.....	24
4.4.3. Importancia de la formación de agregados del suelo.....	25
4.5. Relación con propiedades químicas y agronómicas del suelo.....	26
4.5.1. Propiedades químicas del suelo	26
4.5.2. pH del suelo	26
4.5.3. Contenido de materia orgánica	27
4.5.4. Medidas agronómicas relacionadas con los procesos de agregación del suelo ..	27
V. MATERIALES Y MÉTODOS	29
5.1. Descripción de la zona de estudio	29
5.1.2 Localización geográfica	29
5.1.3 Descripción detallada del área de estudio y su relevancia para la investigación.	29
5.2. Materiales y equipo	32
5.2.1. Equipo utilizado para el reconocimiento del área de estudio	32
5.2.2. Procedimiento para el muestreo del suelo	33
5.2.3. Metodos para la conservación y almacenamiento de las muestras de suelo.....	33
5.3. Trabajos en el laboratorio.....	33
5.3.1. Procedimientos de secado de las muestras.....	34
5.3.2. Métodos utilizados para la determinación de pH del suelo	34

5.3.3. Técnicas empleadas para la determinación de la materia orgánica (MO)	35
5.3.4 Técnicas empleadas para la determinación de la disponibilidad de nutrientes....	36
5.4. Características físicas del suelo	37
5.4.1 Procedimientos para la determinación de la textura	37
5.4.2. Métodos utilizados para la determinación densidad aparente del suelo	38
5.4.3. Enfoque y técnicas empleadas para la prueba de estabilidad de agregados	39
5.4.4. Métodos para la determinación del diámetro medio y diámetro medio ponderado de los agregados del suelo	39
5.5. Análisis estadístico de datos.....	41
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
6.1. Características químicas del suelo	42
6.1.1. pH.....	42
6.1.2. Contenido de materia orgánica del suelo	44
6.2. Características físicas del suelo	45
6.2.1. La textura	45
6.2.2. Densidad aparente del suelo.....	47
6.2.3. Estructura del suelo.....	47
6.2.4. Estabilidad de agregados.....	49
6.2.5. Correlaciones entre variables evaluadas en el estudio.....	51
6.3. Análisis de componentes principales.....	52
VII CONCLUSIONES	56
VIII RECOMENDACIONES	57
IX BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS.....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Rangos de pH (Joey Williamson 2015)	27
Tabla 2 pH para los diferentes tipos de usos del suelo en las diferentes comunidades de la cuenca del río Talgua, Catacamas Olancho.	43
Tabla 3 Porcentajes de Materia Orgánica para los diferentes tipos de usos del suelos en las diferentes comunidades de la cuenca del río Talgua Catacamas Olancho.	44
Tabla 4 Textura de los suelos de las comunidades de la cuenca del río Talgua.	46
Tabla 5 Densidad aparente del suelo en los diferentes tipos de usos del suelo en las comunidades de la cuenca del río Talgua Catacamas, Olancho.	47
Tabla 6 Textura de los suelos en los diferentes tipos usos del suelo en las comunidades de la cuenca del río Talgua, Catacamas Olancho.	48
Tabla 7 Índices de estabilidad de agregados del suelo para los diferentes tipos de usos del suelos en las diferentes comunidades de la cuenca del río Talgua.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación parcelas de muestreo de Flor del café parte alta en Talgua Catacamas Olancho.	30
Figura 2 Ubicación parcelas de muestreo de Buena Vista en Talgua Catacamas Olancho.	31
Figura 3 Ubicación parcelas de muestreo de Pinabetal en Talgua Catacamas Olancho	32
Figura 4 Visita al área de estudio	33
Figura 5 Secado de muestras al aire libre.....	34
Figura 6 Determinación de pH a nivel de laboratorio	35
Figura 7 Análisis de la Materia orgánica del suelo	35
Figura 8 Espectrofotómetro de absorción atómica.....	36
Figura 9 Determinación de textura del suelo	38
Figura 10 Prueba de estabilidad de agregados método Yoder	41
Figura 11 Tabla de correlaciones	51
Figura 12 Análisis de componentes principales.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Análisis estadístico para pH	62
Anexo 2 Análisis estadístico para Materia Orgánica	63
Anexo 3 Análisis estadístico para Densidad Aparente.....	63
Anexo 4 Análisis estadístico para Diámetro Medio Ponderado (DMP)	64

RESUMEN

El objetivo principal del estudio fue evaluar la estabilidad de los agregados del suelo en diferentes usos agrícolas, con el fin de comprender cómo estos usos afectan o contribuyen a la estabilidad de los agregados al interactuar con el agua. Además, se buscó identificar los factores físico-químicos que influyen en la agregación del suelo.

La investigación se llevó a cabo en las comunidades de Flor del Café, Pinabetales y Buena Vista, que forman parte de la microcuenca del río Talgua. Estas comunidades, ubicadas en la zona de amortiguamiento, se destacan por ser áreas productoras de granos básicos y café.

Para evaluar la estabilidad del suelo, se empleó el equipo Yoder, el cual somete las muestras de suelo a movimientos de oscilación al estar en contacto con el agua. Además, se consideraron variables como la estructura y textura del suelo, esta última determinada mediante el método de Bouyoucos. Asimismo, las variables de la parte química del suelo se analizó mediante un espectrofotómetro de absorción atómica

Los análisis de estabilidad de agregados revelan que en la comunidad de Pinabetales, los suelos bajo cultivos de café, maíz y barbecho muestran índices de estabilidad con una media estadísticamente similar, con valores que oscilan entre 3.24 mm y 3.29 mm, los cuales indican una excelente estabilidad del suelo. Los suelos de bajo cultivo de frijol y suelo desnudo presentaron medias más bajas, entre 3.6 y 3.18, pero dentro del rango establecido para una buena estabilidad de los agregados del suelo.

En la comunidad de Buena Vista, el suelo de café mostró la media más baja, con 2.47, mientras que las demás medias fueron estadísticamente similares, con valores entre 2.55 mm y 2.99 mm. En la comunidad de Flor del Café, las medias fueron estadísticamente similares, con valores entre 2.72 mm y 3.00 mm. De esta forma, la comunidad de Buena Vista exhibe los valores de estabilidad de agregados del suelo más bajos de las tres comunidades.

I. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Talgua, ubicada en el municipio de Catacamas, Honduras, abarca 8531 hectáreas y forma parte de la cuenca del río Patuca. Su ecosistema desempeña un papel crucial en el suministro de agua y recursos para la agricultura en la región, siendo fundamental para la producción de granos básicos como el frijol, además de destacar otros cultivos como el café, cacao y hortalizas.

Los recursos hídricos de esta cuenca son esenciales para el riego de cultivos, impulsando la producción agrícola y generando ingresos para los agricultores locales. Sin embargo, la erosión del suelo representa uno de los principales desafíos para la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria de la zona. Según la FAO (2015), la erosión hídrica del suelo ocasiona la pérdida de millones de toneladas de suelo fértil cada año, lo que disminuye la calidad del suelo, reduce la biodiversidad y merma la capacidad de la tierra para producir alimentos.

La erosión hídrica y las prácticas agrícolas inadecuadas son dos de los principales factores que afectan la estructura de los agregados del suelo. La erosión hídrica se produce cuando la fuerza del agua de lluvia desplaza y arrastra las partículas del suelo, lo que puede dar lugar a la pérdida de nutrientes y la compactación del suelo. Por otro lado, las prácticas agrícolas inadecuadas, como el uso excesivo de maquinaria pesada, la labranza intensiva, la sobreexplotación del suelo y el uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas, pueden afectar la estructura del suelo y disminuir la estabilidad de sus agregados (FAO, 2015).

El estudio de la estabilidad de los agregados en suelos de ladera es crucial para comprender los factores que afectan la erosión del suelo y para identificar medidas de conservación del suelo que puedan prevenir la erosión. Además, dicho estudio puede ayudar a identificar prácticas agrícolas que mejoren la estructura del suelo y, por ende, aumenten la producción de los cultivos. En general, el estudio de la estabilidad de los agregados en suelos de ladera es fundamental para el desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente.

Es necesario estudiar la estabilidad de los agregados en suelos de ladera para comprender la capacidad del suelo para resistir la erosión y mantener la estabilidad de la ladera. La información obtenida de estos estudios puede utilizarse para identificar los factores que influyen en la estabilidad de los agregados del suelo, como la estructura del suelo, la composición mineralógica, la materia orgánica, la humedad, la compactación y el manejo del suelo. Con esta información, se pueden desarrollar prácticas de manejo del suelo adecuadas para mejorar la estabilidad de los agregados y prevenir la erosión de la ladera.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivos General

Evaluar el impacto del uso del suelo en cultivos de café, maíz, frijol, barbecho y suelo desnudo en los procesos de agregación y estabilidad de los suelos en las laderas de la cuenca del río Talgua, en Catacamas, Olancho.

2.2 Objetivos Específicos

Evaluar la estabilidad de los agregados del suelo en laderas cultivadas con café, maíz, frijol, barbecho y suelo desnudo.

Establecer la relación entre la estabilidad de los agregados y el contenido de carbono orgánico, pH y macronutrientes del suelo.

Relacionar la estabilidad de los agregados con la densidad y textura del suelo.

Identificar cuál de los usos agrícolas presentan mayor estabilidad en los suelos de ladera.

III. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis nula

No existen diferencias en la distribución y estabilidad de los agregados de diferentes tamaños en contacto con el agua, entre los distintos tipos de cobertura del suelo.

3.2. Hipótesis alternativa

Existen diferencias en la distribución y estabilidad de los agregados de diferentes tamaños en contacto con el agua, entre los diferentes tipos de cobertura del suelo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Suelos de Honduras

Los suelos de ladera son especialmente vulnerables a los procesos de erosión hídrica debido a su ubicación en pendientes, lo que los hace más susceptibles a la acción hídrica. Según Sánchez-Molina et al. (2016), la erosión hídrica es uno de los principales procesos que afectan a los suelos de ladera, especialmente en regiones con alta intensidad de lluvias. La erosión hídrica puede causar la pérdida de nutrientes y materia orgánica del suelo, lo que a su vez puede afectar la productividad y la sostenibilidad del ecosistema.

Además, la erosión del suelo también puede tener un impacto negativo en la calidad del agua ya que los sedimentos y los contaminantes pueden ser transportados a los cuerpos de agua cercanos. Por lo tanto, la erosión del suelo en las laderas puede tener consecuencias tanto ambientales como económicas para las comunidades locales (Sanchez 2016).

Los suelos de laderas de Honduras son altamente vulnerables, especialmente a la erosión hídrica, debido al uso de prácticas agrícolas tradicionales que han tenido consecuencias negativas en la conservación del suelo y del medio ambiente en general a nivel global. Estas consecuencias son el resultado del uso inadecuado del suelo, del monocultivo y del empleo de implementos de labranza inadecuados, los cuales dejan el suelo sin cobertura vegetal y lo dejan expuesto al ambiente, que lo vuelve propenso a ser arrastrado por la lluvia.

4.1.1. Características generales de los suelos de Honduras

Los suelos de Honduras, según Andrés et al. (2015), exhiben una variedad de características generales que influyen en su idoneidad para la agricultura. Algunas de estas características son las siguientes:

Suelos arenosos: Presentan una baja capacidad de retención de agua, escasa materia orgánica y no son adecuados para la agricultura.

Suelos calizos: Contienen una alta concentración de sales calcáreas, poseen un color blanco o pardo, y en regiones secas y áridas no son propicios para la agricultura.

Suelos humíferos (tierra negra): Con abundante materia orgánica en descomposición, color oscuro, capacidad óptima de retención de agua, y son excelentes para el cultivo.

Suelos arcillosos: Formados por partículas finas de tonos amarillos o rojizos, retienen agua formando charcos. Con la adición de humus, pueden ser propicios para el cultivo.

Suelos pedregosos: Formados por rocas de diferentes tamaños, presentan una baja retención de agua y no son idóneos para el cultivo.

4.1.2 Importancia de la cuenca del río Talgua en el contexto de los suelos en Honduras

La cuenca del río Talgua, ubicada en la región de Catacamas, en el departamento de Olancho, desempeña un papel crucial en la conservación de los suelos y la gestión de recursos hídricos en Honduras. La fertilidad y salud de los suelos son vitales para el crecimiento de cultivos y la producción de alimentos. Por lo tanto, la adecuada gestión de las cuencas hidrográficas, incluida la del río Talgua, puede contribuir significativamente a la conservación de los suelos y al desarrollo agrícola sostenible en el país.

4.2. Formación y estructura de agregados

4.2.1. Bioagregación del suelo y estabilidad de agregados

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas y los animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo

y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas. Los productos de deshecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. Los materiales de desecho son más difíciles de descomponer que el material original de las plantas y los animales, pero pueden ser usados por un gran número de organismos (Rodriguez 2016).

Las partículas que componen el suelo, tanto orgánicas como minerales, no se encuentran de forma aislada, sino que se organizan en agregados estructurales, los cuales se describen estáticamente mediante pautas morfológicas para su formación y estabilidad. La estabilidad de estos agregados se refiere a la resistencia de las partículas del suelo al contacto con el agua o con un agente dispersante, como el hexametáfosfato de sodio (HMF). Esta estabilidad está influenciada por las propiedades físicas y químicas del suelo (Najar et al. 2015).

En el contexto del análisis de agregados para evaluar la velocidad de infiltración en suelos saturados o la formación de costras, el método recomendado es la inmersión en agua de un suelo que ha sido secado al aire. Por otro lado, para analizar la estabilidad del suelo, el pretratamiento con humedecimiento por capilaridad es más apropiado. Cuando el suelo se humedece lentamente, la ruptura es gradual, ya que la cohesión es lo suficientemente fuerte como para mantener unidas la mayoría de las partículas primarias en agregados, favoreciendo así la productividad del suelo (Ryan et al. 2013)

Se analizaron las propiedades estructurales de dos suelos en una región templado-húmeda, ambos desarrollados sobre granito y utilizados para prado permanente y cultivo, respectivamente, con el fin de evaluar el impacto del manejo en la calidad estructural del suelo. Se observó que el suelo destinado al prado presentaba propiedades estructurales más favorables, como menor densidad aparente, mayor porosidad, tamaño medio de agregados superior y mayor estabilidad de los mismos frente a la agitación mecánica en agua y a la simulación de lluvia. Esta mayor estabilidad estructural del suelo de prado se asoció con un mayor contenido de materia orgánica (MOS) (Velasco 2014).

4.2.2. Procesos y mecanismos de agregación de formación de agregados

La formación de agregados en el suelo es un proceso complejo que involucra diferentes mecanismos y procesos físicos, químicos y biológicos. Los agregados se forman a través de la actividad de las raíces de las plantas, los microorganismos, la materia orgánica y otros factores, y son fundamentales para la estructura del suelo, ya que influyen en su porosidad, capacidad de retención de agua y aireación (González-Chávez et al. 2015)

Interacciones físicas: Las partículas del suelo se unen mediante fuerzas físicas de adhesión y la cohesión. La adhesión se refiere a la atracción entre las partículas del suelo y los agregados, mientras que la cohesión se refiere a la atracción entre las partículas dentro de un agregado.

Interacciones químicas: Los minerales del suelo pueden interactuar químicamente entre sí, formando enlaces y contribuyendo a la formación de agregados. Estas interacciones pueden ser influenciadas por factores como el pH del suelo y la presencia de iones en solución.

Interacciones biológicas: Los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica y liberan sustancias que promueven la agregación del suelo. Además, los microorganismos pueden formar estructuras estables, como las redes de hifas de los hongos micorrícicos, que ayudan a unir las partículas del suelo y formar agregados (González-Chávez et al. 2015)

4.2.3. Estructura y agregación del suelo

La estructura de un suelo se caracteriza por la cantidad, tamaño, forma y distribución de los poros. Esta distribución de partículas condiciona la existencia y las características de los poros, que representan la parte del suelo ocupada por agua y/o por la atmósfera del suelo. La estructura del suelo se suele evaluar en función del grado de estabilidad de los agregados, cuya medida se utiliza como indicador de su calidad física, así como un valioso indicador de la degradación del suelo (de las Heras 2015).

Formación de agregados del suelo: Los agregados de suelo son estructuras formadas entre partículas minerales primarias (arcillas, limos y arenas) como resultado de procesos físicos, químicos y biológicos, así como de las prácticas de manejo del suelo. Estos agregados se constituyen como resultado de interacciones bióticas y abióticas. Los componentes bióticos

incluyen raíces, hongos (saprótrofos, micorrízicos), mesofauna y bacterias. En el caso de los hongos, se ha generalizado su función como la vinculación de partículas para formar macroagregados, sin considerar sus diferencias en morfología, capacidad de exploración y relación con el fitobionte (Martines 2018).

La formación de agregados en el suelo es un proceso crucial que influye en su calidad y productividad. Estas estructuras porosas están compuestas por partículas de diferentes tamaños y materia orgánica, unidas por fuerzas físicas y químicas. Este proceso mejora la estructura del suelo, aumenta su porosidad, facilita la infiltración de agua y aire, retiene nutrientes y protege contra la erosión (Martines 2018)

La agregación física ocurre cuando las partículas del suelo se unen debido a fuerzas físicas como compresión, expansión y contracción. La actividad de las raíces de las plantas y los organismos del suelo también contribuye a la formación de agregados físicos.

La agregación química se produce cuando iones y minerales en el suelo forman enlaces químicos, creando una estructura más sólida. Por ejemplo, los iones de calcio y magnesio pueden unirse para formar carbonatos que unen las partículas del suelo.

La agregación biológica ocurre cuando microorganismos en el suelo, como bacterias y hongos, producen sustancias pegajosas llamadas exopolisacáridos, que unen las partículas del suelo y ayudan a formar agregados, lo que aumenta la estabilidad de los mismos (Lehmann 2015).

4.2.4. Interacciones bióticas en la formación de agregados al suelo

Las especies asociadas con los agregados del suelo, la porosidad y las propiedades microclimáticas (temperatura, humedad y aireación) del suelo, determinan la funcionalidad en la agregación como resultado del aporte constante de materia orgánica (MO) y su descomposición. Esto demuestra que la formación de agregados del suelo establece escenarios significativos a través de diversas interacciones entre comunidades bióticas (Bedini et al. 2009).

4.3. Factores que influyen en la formación de agregados

Entre los factores principales que influyen en la estructura y agregación del suelo se encuentran la fauna del suelo, los microorganismos, las variables ambientales, los agentes cementantes inorgánicos y las raíces. Estos, junto con otros factores igualmente importantes, contribuyen a dar forma al suelo.

El grado de estructura, por definición, representa la intensidad de la agregación y expresa la diferencia entre la cohesión dentro de los agregados y la adhesividad entre ellos. La cohesión se refiere a la capacidad de las partículas similares de unirse entre sí, mientras que la adhesión se refiere a la capacidad de las diferentes partículas o superficies de unirse. Dado que estas propiedades varían según el contenido de humedad del suelo, el grado de estructura debe determinarse cuando el suelo no esté excesivamente húmedo ni seco (Ortega 2022).

4.3.1. La materia orgánica del suelo

La materia orgánica es el término que describe la sustancia derivada de restos de plantas y animales, compuesta principalmente por compuestos de carbono. Según un Análisis de Sistemas Terrestres de William H. Schlesinger y Emily S. Bernhardt, la materia orgánica es fundamental para la vida en la Tierra, y su ciclo es uno de los procesos esenciales que mantienen la calidad del suelo, del agua y del aire.

Según la FAO, la materia orgánica del suelo es una fracción importante que influye en la calidad del suelo, la biodiversidad y los procesos ecológicos, siendo una fuente significativa de nutrientes para las plantas (FAO 2012). La materia orgánica la constituyen compuestos como carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y en residuos más resistentes, dando lugar al humus. Durante este proceso, los microbios pueden capturar nitrógeno del suelo; la materia orgánica y el humus almacenan muchos nutrientes del suelo, mejoran su estructura, previenen la erosión y aumentan su capacidad de retener nutrientes y agua en suelos arenosos (Banegas 2014).

El suelo es un hábitat propicio para la proliferación de microorganismos, con micro colonias desarrollándose en sus partículas. Los microorganismos aislados del suelo comprenden virus, bacterias, hongos, algas y protozoos. Las concentraciones de materia orgánica son

relativamente altas en tales ambientes, lo que favorece el desarrollo de microorganismos heterótrofos (Banegas 2014)

El suelo tiene cuatro componentes principales: la fracción mineral, la fracción orgánica, el aire y el agua. La fracción mineral está compuesta por partículas de arena, limo y arcilla, definiendo la textura básica del suelo. El agua del suelo contiene minerales disueltos y es la principal fuente de agua y nutrientes para las plantas. El aire del suelo es necesario para que las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo reciban oxígeno. La fracción orgánica o materia orgánica incluye vegetales y animales en diversos estados de descomposición (Docampo 2014).

4.3.2. Efecto del uso del suelo a la formación de agregados

La formación y estabilización de agregados se lleva a cabo por la unión de materia orgánica particulada (MOP) unida a excreciones de microorganismos y mucus de lombrices. Si la actividad microbiana decrece, disminuye la formación de agregados y eventualmente se generarán perturbaciones. Disrupciones como la labranza disminuyen la formación de nuevos microagregados dentro de macroagregados y la protección que la materia orgánica del suelo (MOS) ejerce sobre estos microagregados.

La investigación en las últimas cinco décadas se ha centrado en dilucidar los mecanismos por los cuales las raíces afectan la estabilidad del suelo; cabe destacar, que la mayor parte de ésta se ha realizado en suelos agrícolas. La finalidad de dichos estudios ha sido el establecimiento de parámetros morfo-funcionales e indicadores de la calidad del suelo con fines de aprovechamiento agroecológico y conservación, tales como: profundidad de enraizamiento, contacto raíz- agregado, densidad de raíces, distribución de raíces en el perfil arable; tamaño, distribución y forma de los poros creados por raíces y estructura (Torres 2013).

4.3.3. Agentes de agregación al suelo

Cationes: La existencia de cargas negativas en la superficie de las partículas de arcilla y de una capa de cationes alrededor de ellas provoca que exista un equilibrio de atracción (por fuerzas de van der Waals) y repulsión (por fuerzas electrostáticas) entre los coloides. Las condiciones de dicho equilibrio van a determinar que las partículas de arcilla se agrupen

(coloides floculados) o se repelan (coloides dispersos). Cuanto menor sea el espesor de esta doble capa, más intensas serán las fuerzas de atracción entre coloides (de las Heras 2015).

Minerales de la arcilla: La agregación del suelo está fuertemente influenciada por los minerales de la fracción arcilla. Éstos condicionan de forma directa propiedades como el área superficial, la capacidad de cambio catiónico, la densidad de carga, la dispersividad y la capacidad de expansión, las cuales afectan a la agregación (Schulten y , Leinweber 2000).

Carbono orgánico: El carbono orgánico del suelo juega un papel destacado en la mejora de las características físicas de los suelos, debido a su capacidad para cementar las partículas inorgánicas contribuyendo a la formación de agregados. Un incremento en la cantidad de carbono orgánico en el suelo está generalmente asociado con un aumento en la estabilización de los agregados edáficos (Caravaca et al. 2002).

4.4. Evaluación de estabilidad de los agregados

4.4.1 Métodos de evaluación de la estabilidad de agregados

Los métodos pueden clasificarse en métodos directos y métodos indirectos. Dentro de los métodos directos se mencionan aquellos relacionados con el estudio y evaluación de los cambios morfológicos de la estructura del suelo (tamaño y forma de los agregados, arreglo espacial y morfología de los poros, continuidad de los poros, etc.). Los métodos indirectos pueden clasificarse en aquellos que se relacionan con el decrecimiento en la capacidad de infiltración, los que tienen que ver con el incremento de la resistencia superficial y los derivados de características y propiedades de suelo (Lobo 2006).

El método 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 2006).

4.4.2 Métodos directos y su aplicabilidad

Método de Yoder (1936). Uno de los métodos más ampliamente utilizado para evaluar la estabilidad estructural de los suelos es el tamizado en húmedo. Los suelos con alta estabilidad

agregada son menos susceptibles a la erosión, mantienen su forma cuando están expuestos a fuerzas disruptivas como el agua y no se separan fácilmente. Este método implica el tamizado en húmedo de muestras de suelo secadas al aire, con movimientos ascendentes y descendentes en un agitador mecánico, utilizando un juego de tamices con apertura de malla de 6,3; 4,00; 2,00; 1,00; 0,5 y 0,25 mm (Lobo y Pulido, 2011).

El diámetro medio ponderado de los agregados tamizados en agua (DMP) de Kemper y Rosenau (1986), modificado por Pla (1983), expresa la relación entre el diámetro medio de una clase de tamaño dada y la fracción de peso de esta clase de tamaño, respecto al peso total en la muestra de suelo. Para su determinación se hace uso de la información generada en la prueba de tamizado en húmedo de los agregados del suelo, dónde: DMP = diámetro medio ponderado D_i = diámetro medio de una clase de tamaño dada P_i = fracción de peso de la clase de tamaño correspondiente

Índice de Estabilidad Estructural (EE). Este índice propuesto por Topp et al., (1997) relaciona el peso de agregados estables al agua con diámetro equivalente $> 0,25$ mm con el peso de agregados entre 1 y 2 mm de diámetro, ya que se utiliza el método propuesto por Kemper y Rosenau (1986), pero usando agregados entre 1 y 2 mm de diámetro equivalente. Altos valores del Índice EE están relacionados con una mayor estabilidad de los agregados.

Índices de sellado absoluto y relativo (Nacci y Pla, 1991). Para obtener este índice se mide la mínima conductividad hidráulica saturada del suelo con impacto de gotas (KCS) y sin impacto de gotas (KSS), para lo cual, se utiliza un simulador de lluvia tipo gotero diseñado por Nacci y Pla (1991). Para ambas evaluaciones (KSS y KCS) la muestra de suelo consiste en 70 g de agregados entre 2-4 mm de diámetro secos al aire, cantidad necesaria para alcanzar una capa de suelo aproximadamente de 1 cm de espesor en embudos de porcelana de 71 cm² de área (Lobo y Pulido, 2011).

4.4.3. Importancia de la formación de agregados del suelo

Los agregados crean hábitats para los microorganismos del suelo, permiten el desarrollo y la penetración de las raíces de las plantas y contribuyen al ciclo de nutrientes y al transporte.

Juegan un papel crucial en la formación y la salud de la estructura del suelo. En la agricultura, la estabilidad de los agregados es fundamental para el funcionamiento del agroecosistema.

Los suelos con una alta estabilidad de agregados son menos susceptibles a la erosión, mantienen su forma cuando están expuestos a fuerzas disruptivas como el agua y no se separan fácilmente. Por el contrario, los suelos poco agregados se desintegran fácilmente cuando se exponen a fuerzas erosivas. Tienden a descomponerse más rápido, lo que conduce a la degradación del suelo. La falta de estabilidad puede llevar a que se rellenen los espacios de poros y, en última instancia, dar lugar a la formación de costras en el suelo. Esto puede disminuir la infiltración y el intercambio gaseoso, reduciendo así la productividad de los cultivos (Powelson 2019).

4.5. Relación con propiedades químicas y agronómicas del suelo

4.5.1. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo son características que determinan su composición química y su capacidad para retener y liberar nutrientes. Estas propiedades pueden variar con el tiempo debido a la meteorización del material de partida por el agua, lo que afecta la composición química del suelo. La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede influir en la estabilidad de los agregados. Un suelo bien equilibrado en nutrientes es más propenso a tener una buena estabilidad de los agregados (FAO 2003).

4.5.2. pH del suelo

El pH del suelo es una propiedad química importante, ya que afecta directamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Diferentes plantas tienen diferentes requisitos de pH del suelo para un crecimiento óptimo. El rango de pH óptimo para la mayoría de las plantas oscila entre 5.5 y 7.0, aunque algunas plantas pueden adaptarse a valores de pH fuera de este rango (Williamson 2015).

Tabla 1 Rangos de pH (Joey Williamson 2015)

Denominación	Rango de pH
Ultra ácido	< 3.5
Extremadamente ácido	3.5–4.4
Muy fuertemente ácido	4.5–5.0
Fuertemente ácido	5.1–5.5
Moderadamente ácido	5.6–6.0
Ligeramente ácido	6.1–6.5
Neutro	6.6–7.3
Ligeramente alcalino	7.4–7.8
Moderadamente alcalino	7.9–8.4
Fuertemente alcalino	8.5–9.0
Muy fuertemente alcalino	> 9.0

4.5.3. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica en el suelo es de gran importancia, ya que influye en sus propiedades químicas y físicas, así como en la salud y productividad de las plantas. Este tipo de materia se refiere a los restos de plantas y animales en diferentes etapas de descomposición. La presencia de materia orgánica en el suelo mejora su estructura, aumenta su capacidad de retener agua y nutrientes, promueve la actividad microbiana y contribuye a la formación de agregados del suelo (Salazar 2014).

4.5.4. Medidas agronómicas relacionadas con los procesos de agregación del suelo

Las medidas agronómicas relacionadas con los procesos de agregación del suelo son prácticas y técnicas implementadas para mejorar la formación y estabilidad de los agregados del suelo, concentrándose en promover un ambiente favorable para su desarrollo, lo que a su vez mejora la estructura y calidad del suelo.

Incorporación de materia orgánica: La presencia regular de residuos orgánicos como compost o estiércol es crucial para la formación de agregados del suelo. Este aporte aumenta la

actividad biológica y mejora la estabilidad de los agregados al actuar como aglutinante natural que ayuda a conservar la estructura del suelo (Poeplau 2018).

Uso de cultivos de cobertura: Cultivos de cobertura como leguminosas o gramíneas, sembrados entre los ciclos de cultivo principal, protegen el suelo de la erosión, mejoran su estructura y aumentan la presencia de raíces vivas que contribuyen a la formación de agregados y a su estabilidad, proporcionando un suelo más rico en nutrientes para la producción (Poeplau 2018).

Evitar la compactación del suelo: La compactación del suelo reduce la porosidad y dificulta la formación de agregados. Por tanto, es fundamental evitar el tráfico de maquinaria pesada cuando el suelo está húmedo, ya que esto puede causar compactación. Además, se recomienda implementar prácticas que reduzcan el pisoteo excesivo del suelo, como la instalación de pasillos para el acceso a las áreas de cultivo (Bottinelli 2016).

Rotación de cultivos: La rotación de cultivos contribuye a diversificar los residuos vegetales incorporados al suelo. Diferentes cultivos producen distintos tipos de residuos orgánicos, lo que favorece la formación de agregados de diversos tamaños y la creación de una estructura más estable (Bottinelli 2016).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción de la zona de estudio

La investigación se llevó a cabo en las laderas de la cuenca del río Talgua, en el municipio de Catacamas, Olancho, específicamente en las aldeas de Buena Vista, Pinabetales y Flor del Café. Esta cuenca hidrográfica es de gran importancia para el municipio, ya que posee un potencial hídrico para uso doméstico y agrícola, y suministra agua a 16 aldeas, incluyendo seis que se encuentran dentro de esta unidad territorial (Reyes, 2021).

5.1.2 Localización geográfica

La cuenca del río Talgua forma parte de la cuenca del río Patuca en Honduras, el cual drena en el Mar Caribe (Figura 2). 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 cuadrados (Reyes, 2021).

5.1.3 Descripción detallada del área de estudio y su relevancia para la investigación.

La comunidad de Flor del Café se caracteriza por su clima tropical, ubicada a una altura de 820.7 metros sobre el nivel del mar (msnm). La población se dedica principalmente a la agricultura, cultivando granos básicos, café, y en algunos casos, implementando fincas de cacao en reemplazo del café debido a las pérdidas sufridas y las tendencias del mercado actual. Se encuentra en un entorno principalmente cubierto por bosque latifoliado.

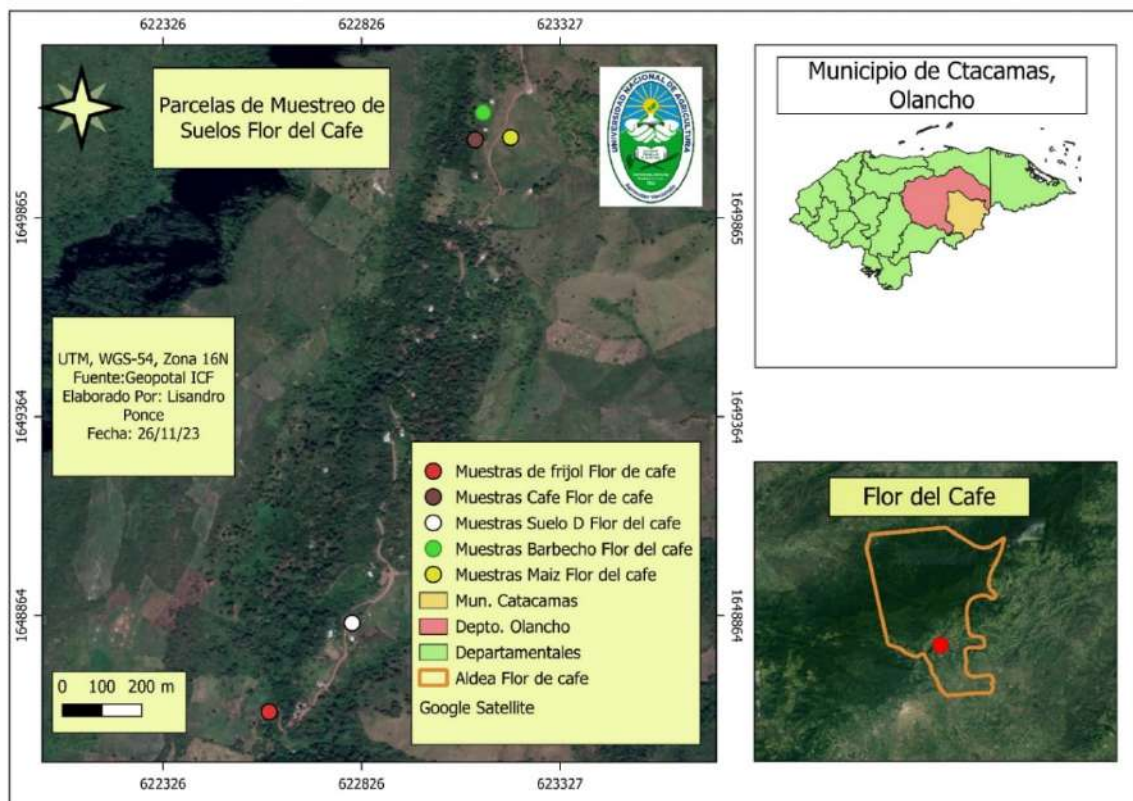


Figura 1 Ubicación geográfica de parcelas de muestreo en la Flor del café parte alta en cuenca del Talgua, Catacamas Olancho.

La comunidad de Buena Vista 1 se distingue por su clima tropical, situada a una altura de 981.2 msnm. La gran mayoría de la población se dedica a la agricultura, principalmente a los cultivos de granos básicos y café, con un pequeño porcentaje que se dedica a la ganadería. Esta zona se caracteriza por la predominancia de un bosque latifoliado.

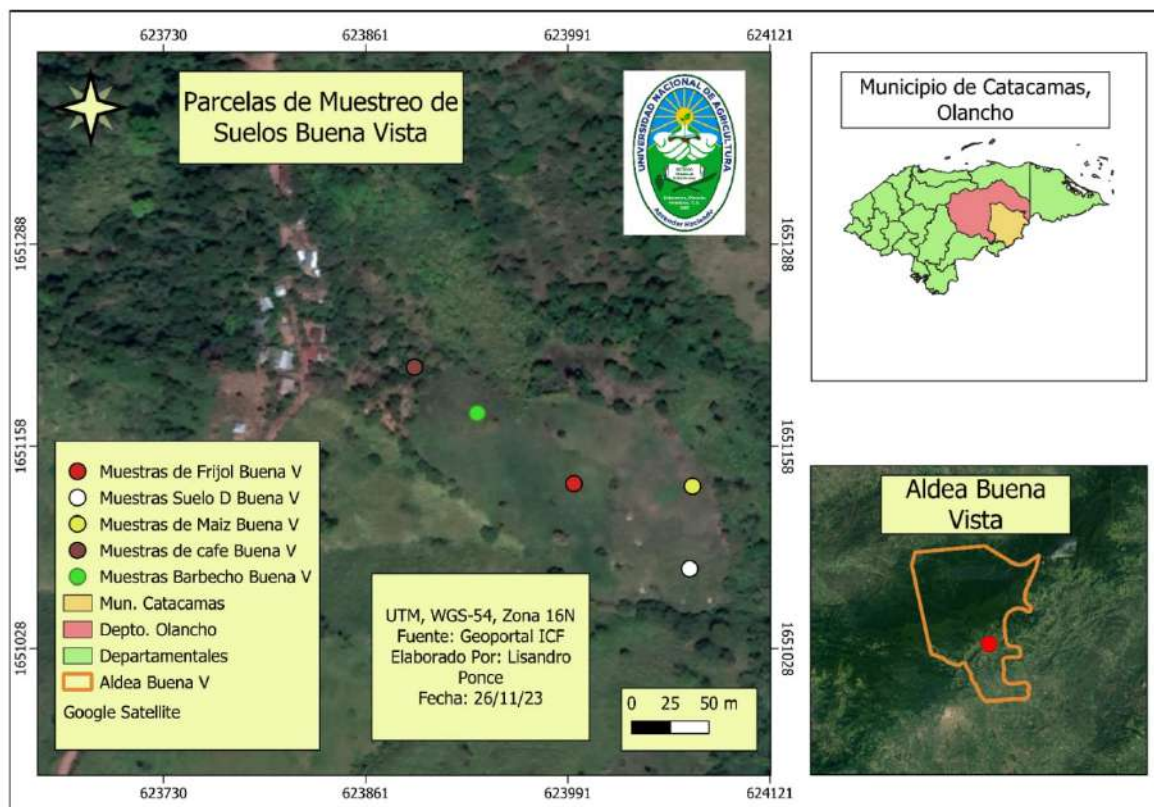


Figura 2 Ubicación geográfica de parcelas de muestreo de Buena Vista 1 en cuenca del Talgua, Catacamas Olancho.

La comunidad de Pinabetales es conocida por sus extensas laderas y su clima tropical, ubicada a una altitud de 998.9 msnm. La principal actividad económica es la agricultura, con un enfoque mayor en el cultivo de granos básicos, y en algunas zonas, el cultivo de café. Esta zona se encuentra mayormente cubierta por vegetación de bosque latifoliado.

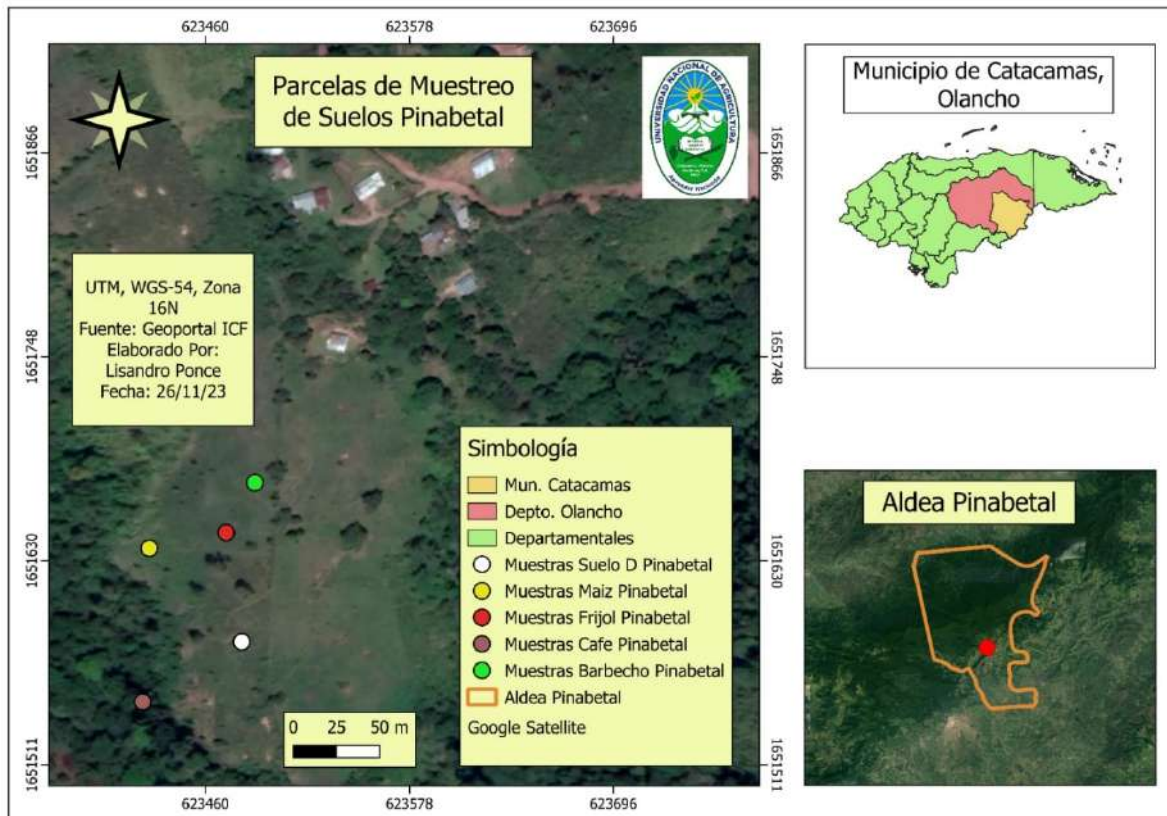


Figura 3 Ubicación geográfica de parcelas de muestreo en Pinabetales en cuenca del Talgua Catacamas, Olancho.

5.2. Materiales y equipo

Para llevar a cabo la investigación, se utilizaron diversos materiales proporcionados por el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Agricultura, como vasos metálicos, beaker, bastón agitador, pizeta, horno, equipo Yoder, balanza, kit de tamices y agitador. Además, se emplearon herramientas de campo como barreno, pala, piocha, bolsas plásticas, barreno para suelos, libreta de campo y una motocicleta para el transporte.

5.2.1. Equipo utilizado para el reconocimiento del área de estudio

Se realizó un viaje para el reconocimiento del área en donde se llevó a cabo el trabajo de investigación. Durante esta gira de reconocimiento, se utilizó un dron para obtener una visión general del aérea. Los líderes de la comunidad mostraron las parcelas donde se llevó a cabo la toma de muestras de suelo.



Figura 4 Visita de reconocimiento del área de estudio

5.2.2. Procedimiento para el muestreo del suelo

La toma de muestras es crucial en la evaluación del suelo. Para ello, se seleccionan puntos representativos en el área de estudio, tanto en la zona alta, media y baja, tomando muestras a dos profundidades (0-5 y 5-10 cm). Estas muestras se trasladaron al laboratorio para realizar análisis de pH, textura y otros parámetros que ofrecen información valiosa para la gestión del trabajo de investigación.

5.2.3. Metodos para la conservación y almacenamiento de las muestras de suelo

Después de recolectar las muestras, se colocaron en bolsas plásticas, se identificaron y se trasladaron al laboratorio. Allí, se pusieron a secar en un área especial destinada para muestras y secado, garantizando que no tuvieran alteraciones ni contaminación, lo que permitió obtener resultados más precisos.

5.3. Trabajos en el laboratorio

El trabajo con las muestras se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Agricultura, donde se aplicaron métodos y protocolos específicos para cada tipo de análisis. En este entorno se llevaron a cabo los análisis de estabilidad de agregados, textura, estructura, densidad aparente, porosidad, pH, y materia orgánica. Asimismo, se realizaron

análisis de micronutrientes como hierro, manganeso, cobre y zinc; y de macronutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

5.3.1. Procedimientos de secado de las muestras

Las muestras se llevaron al laboratorio y se secaron a temperatura ambiente al aire libre para que perdieran la humedad al evaporarse el agua. Se colocaron en bandejas de *foam* limpias y secas para facilitar el proceso de secado.



Figura 5 Secado al aire libre de las muestras de suelo

5.3.2. Métodos utilizados para la determinación de pH del suelo

Para la determinación del pH de cada tipo 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 y los resultados no puedan ser alterados.



Figura 6 Determinación de pH a nivel de laboratorio

5.3.3. Técnicas empleadas para la determinación de la materia orgánica (MO)

Para determinar el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), se utilizó la metodología de Walkey Black (1934). Este método se basa en una valoración volumétrica de oxidación-reducción, en el cual la materia orgánica del suelo se oxida con un exceso de oxidante, y la determinación se realiza estimando la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica, utilizando una solución de sulfato ferroso.



Figura 7 Análisis de la materia orgánica del suelo

5.3.4 Técnicas empleadas para la determinación de la disponibilidad de nutrientes

La determinación de la disponibilidad de nutrientes del suelo se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica, un método utilizado en análisis químicos de suelos. Este equipo mide la absorbancia de una muestra de suelo a diferentes longitudes de onda para determinar la concentración de nutrientes presentes en el suelo.



Figura 8 Espectrofotómetro de absorción atómica para análisis químico de suelos

5.4. Características físicas del suelo

5.4.1 Procedimientos para la determinación de la textura

La determinación de la textura del suelo se realizó mediante la metodología de Bouyoucos. El resultado se obtuvo a partir de las lecturas del hidrómetro y termómetro realizadas a los 40 segundos y dos horas. Según el método, las lecturas del hidrómetro se corrigieron utilizando las lecturas del termómetro, considerando que por cada grado por encima o por debajo de 67 °F, se suma o resta 0,2 a las lecturas del hidrómetro. Para determinar el porcentaje de cada fracción de partículas en el suelo se utilizaron las fórmulas correspondientes:

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

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 determinar el tipo de textura del suelo, se utilizó el triángulo textural, empleando los porcentajes de arcilla, limo y arena obtenidos previamente. Para llevar a cabo la determinación de la textura, se realizó una dispersión del suelo de dos formas: química y mecánica. En el método químico, se empleó una solución dispersante formulada con hexametáfosfato de sodio, disuelto en agua destilada, además de carbonato de sodio disuelto en agua destilada, la cual se dejó reposar durante 24 horas.



Figura 9 Determinación de la textura del suelo por metodología de Bouyoucos

5.4.2. Métodos utilizados para la determinación densidad aparente del suelo

La determinación de la densidad aparente se realizó mediante el método del cilindro (Delgadillo & Martinez, 2010), que consiste en los siguientes pasos:

- 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 que esté completamente introducido.
- Retira el cilindro y cortar los extremos.
- Colocar la muestra en bolsas plásticas previamente identificadas.
- Trasladar las muestras al laboratorio.
- Colocar las muestras en un Beaker y llevarlas a un horno a 105 °C durante 24 horas.
- Registrar el peso seco de la muestra de suelo

Esta prueba se llevó a cabo en 15 escenarios de uso del suelo (Figura 13), y la densidad aparente se determinó utilizando la fórmula correspondiente:

$$Da = \frac{P_{ss}}{VC}$$

Donde:

Da: densidad aparente (g/cm³).

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

Vc: volumen del cilindro (cm³).

5.4.3. Enfoque y técnicas empleadas para la prueba de estabilidad de agregados

Para cuantificar la estabilidad de los agregados en contacto con el agua se utilizó el método de Yoder (1936), que consiste en exponer una muestra de suelo a un conjunto de tamices sometidos a vibraciones verticales en agua, simulando el efecto de humectación y transporte de los agregados durante la lluvia

Para este método se sigue el siguiente procedimiento:

- Preparación de la muestra en tamices entre 7.0-0.25 mm de diámetro.
- Pesar 50 gramos de suelo por cada muestra.
- Pesar e identificar cada recipiente de aluminio.
- Ordenar de forma descendente los tamices (2, 1, 0.5 y 0.25 mm).
- Llenar con agua de grifo el equipo Yoder con un volumen de 70 litros.
- Colocar la muestra de suelos en la parte superior del tamiz.
- Introducir los tamices y se esperar a que se sumerjan por completo.
- Encender y calibrar el equipo a 20 rpm y 10 minutos.
- Con ayuda de una piseta retirar los acumulados de cada tamiz y depositarlos en recipientes de aluminio previamente identificados para cada tamaño de agregados.
- Introducirlos en el horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas.
- Se registró el peso de cada recipiente con suelo seco.

5.4.4. Métodos para la determinación del diámetro medio y diámetro medio ponderado de los agregados del suelo

El diámetro medio (MD) y el diámetro medio ponderado (DMP) son parámetros utilizados para caracterizar la distribución del tamaño de las partículas del suelo. La fórmula para

calcular estos parámetros depende del método para determinar la distribución de tamaño, por ejemplo, el análisis del tamaño de partículas. 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):

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

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.



Figura 10 Prueba de estabilidad de agregados por el método de Yoder

5.5. Análisis estadístico de datos

Los análisis se realizaron mediante Software Infostat, donde se consideraron datos de suelos en parcelas bajo cinco diferentes usos, en tres comunidades y dos profundidades del suelo. Se tuvieron en cuenta tres zonas de cada parcela: alta, media y baja, considerando cada zona como una repetición por parcela (zona alta repetición 1, zona media repetición 2 y zona baja repetición 3). Por este motivo, se realizaron pruebas estadísticas con Tukey.

VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este informe presenta los resultados de un estudio que busca demostrar los efectos sobre la estabilidad de los agregados de distintos usos del suelo en la microcuenca del río Talgua, específicamente en las comunidades de Pinabetales, Flor del Café y Buena Vista 1. Los hallazgos se presentan en tablas y figuras que ilustran los promedios y porcentajes de las condiciones físicas y químicas presentes en la microcuenca del río Talgua.

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) con el objetivo de determinar patrones y correlaciones entre las variables estudiadas. Este análisis brinda una comprensión más profunda de las interacciones entre las diversas propiedades físicas y químicas en la microcuenca. Los resultados del ACP proporcionan la identificación de relaciones y agrupaciones importantes que pueden no ser evidentes de manera individual. Esta técnica ofrece una visión más integral y descriptiva de las complejidades de la estabilidad del suelo en la microcuenca del río Talgua, lo que, a su vez, puede guiar decisiones de manejo y conservación de manera más eficiente.

6.1. Características químicas del suelo

6.1.1. pH

Los datos de pH (Tabla 2) obtenidos en la investigación revelan distintos niveles de acidez y alcalinidad en los diversos usos de suelo en la microcuenca del río Talgua. En la comunidad de Pinabetales, se observó un nivel de pH ligeramente ácido, estadísticamente equivalente, con medias que oscilan entre 6.07 y 6.31.

Tabla 2 pH para los diferentes tipos de usos del suelo en comunidades de la cuenca del Talgua, Catacamas Olancho.

	Café	Maíz	Frijol	S.Desnudo*	Barbecho
Pinabetal	6.31 ^{BC**}	6.11 ^{BC}	6.28 ^{BC}	6.28 ^{BC}	6.07 ^C
Buena Vista 1	6.35 ^{BC}	6.09 ^{BC}	6.27 ^{BC}	6.24 ^{BC}	6.35 ^{BC}
Flor del Café	6.40 ^{BC}	6.45 ^{BC}	7.14 ^A	6.08 ^C	6.73 ^{AB}

*S. Desnudo; Suelos Desnudo. **Medias con letras mayúsculas se comparan entre filas y columnas, medias con misma letra son estadísticamente igual según tets de Tukey ($\alpha=0.05$, $n=6$).

En la comunidad de Buena Vista 1, se observaron medias de pH que oscilan entre 6.09 y 6.35, lo que indica un nivel ligeramente ácido, y estas medias fueron estadísticamente similares. Por otro lado, en la comunidad de Flor del Café se observó una mayor variación en las medias de pH. La media del pH en frijol resultó neutro, siendo significativamente mayor con una media de 7.14, mientras que el resto de las medias se mantuvieron estadísticamente similares, oscilando entre 6.08 y 6.73.

Los resultados del pH en las comunidades de Pinabetal y Buena Vista 1 reflejan suelos ligeramente ácidos, con valores que oscilan entre 6.07 y 6.35. Estos niveles de pH podría indicar una preferencia por cultivos que prosperan en condiciones ligeramente ácidas, como es el caso de los granos básicos. En contraste, en la comunidad de Flor del Café, observamos una mayor variabilidad en los valores de pH. Si bien la media en frijol exhibe un pH neutro, otras mediciones sugieren un rango de pH que va desde ligeramente ácido hasta neutro. Esta variabilidad refleja diferencias significativas en la acidez o alcalinidad del suelo, lo que indica una diversidad edafológica importante en esta comunidad.

Dada esta variabilidad, es crucial considerar la influencia del pH del suelo en la selección de cultivos y en la planificación del manejo del suelo en cada una de estas comunidades. Estos hallazgos resaltan la importancia de comprender y tener en cuenta las preferencias de pH específicas de cada cultivo, así como la necesidad de adaptar las prácticas de manejo del suelo para maximizar el potencial productivo en función de sus características edafológicas. Estos resultados también tienen implicancias para la conservación y manejo sostenible del suelo en cada una de estas áreas agrícolas, lo que resalta la importancia de abordar la

variabilidad en el pH del suelo como parte de un enfoque integral hacia la gestión agrícola y edafológica en estas comunidades.

6.1.2. Contenido de materia orgánica del suelo

En la comunidad de Pinabetales, en suelos bajo cultivo de café se obtuvo el porcentaje más alto de materia orgánica (5.36%), lo que indica una cantidad considerable para suelos tropicales. El suelo destinado al cultivo de frijol tuvo uno de los porcentajes más bajos de materia orgánica (3.15%), mientras que los demás usos de suelo tuvieron medias estadísticamente similares, oscilando entre 3.71% y 4.49% (Tabla 3).

Tabla 3 Porcentajes de materia orgánica para los diferentes tipos de usos del suelos en las diferentes comunidades de la cuenca del río Talgua, Catacamas Olancho.

	Café	Maíz	Frijol	S.Desnudo*	Barbecho
Pinabetal	5.36 ^{A**}	4.49 ^{ABCD}	3.15 ^{DE}	4.72 ^{ABC}	3.71 ^{BCDE}
Buena Vista	2.51 ^E	3.81 ^{BCDE}	3.67 ^{BCDE}	4.33 ^{ABCD}	4.68 ^{ABC}
Flor del Café	4.92 ^{AB}	4.67 ^{ABC}	4.99 ^{AB}	3.39 ^{CDE}	4.73 ^{ABC}

*S. Desnudo; Suelos Desnudo. **Medias con letras mayúsculas se comparan entre filas y columnas, medias con misma letra son estadísticamente igual según tests de Tukey ($\alpha=0.05$, $n=6$).

En la comunidad de Buena Vista, el suelo en barbecho tuvo la mayor media de contenido de materia orgánica (4.68%), mientras que el suelo bajo café registró la menor media (2.51%). Las demás medias fueron estadísticamente similares. En la comunidad de Flor del Café, el suelo desnudo tuvo la menor media (3.39%), mientras que los suelos de café, maíz, frijol y barbecho tuvieron medias estadísticamente similares, oscilando entre 3.67% y 4.92%. Estos resultados indican un porcentaje favorable de materia orgánica (MO), ya que después de cada cosecha quedan los rastrojos y hojarascas, lo que contribuye a mantener un buen porcentaje de materia orgánica en el suelo de estas comunidades de la cuenca.

Los porcentajes de materia orgánica reflejan variaciones significativas en el suelo, en función de los diferentes usos del suelo evaluados en las comunidades de la cuenca del río Talgua. En el caso de Pinabetal, donde se observan porcentajes de materia orgánica más altos, especialmente en el café, estos valores sugieren que es posible que la presencia en esa área de algún tipo de vegetación específica asociada con este cultivo y prácticas de manejo que

hacen una mayor contribución de la materia orgánica que puede contribuir con la estabilización de los agregados. La presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en el suelo puede promover la formación de agregados más estables que mejoran la estructura del suelo, lo que a su vez facilita la infiltración del agua y reduce la erosión.

En contraste, en Buena Vista 1 se observa una variación en los porcentajes de materia orgánica. Este rango amplio podría reflejar diferencias en la estabilización de agregados según el tipo de uso del suelo y las prácticas de manejo. La presencia de mayores variaciones en la materia orgánica puede afectar la formación y la estabilidad de los agregados en respuesta al agua, lo que a su vez puede influir en la respuesta del suelo a la erosión.

En Flor del Café, los porcentajes de materia orgánica pueden reflejar una variabilidad en la capacidad del suelo para formar y mantener agregados estables frente al agua. La presencia de materia orgánica en niveles moderados a altos puede contribuir a la formación de agregados más estables que resisten la desagregación durante la ocurrencia de las lluvias.

Es importante considerar que una mayor presencia de materia orgánica, especialmente en suelos de ladera, puede contribuir a la formación de agregados más estables que promueven la estructura del suelo y reducen la erosión. Sin embargo, debe destacarse la importancia de manejar cuidadosamente la materia orgánica y la estructura del suelo en estas áreas para mantener la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas en estas comunidades.

6.2. Características físicas del suelo

6.2.1. La textura

Los resultados de la investigación en la cuenca del río Talgua, indican que los tipos de suelo presentes corresponden principalmente a la textura franco arenosa en un 87%. Este tipo de suelo es altamente productivo en agricultura debido a su estructura relativamente suelta, fertilidad y capacidad adecuada de retención de humedad (Gisbert Blanquer et al.). La composición típica de un suelo franco arenoso es aproximadamente 45% de arena, 40% de limo y 15% de arcilla (FAO 2021). Además, se encontró un 13% de textura franco arcilloso arenosa, y se observó que factores como el clima, la vegetación y las prácticas de manejo del suelo influyen en la formación de este tipo de suelo (Tabla 4).

Tabla 4 Textura de los suelos de las comunidades de la cuenca del río Talgua.

Uso de suelo	Profundidad	Arena %	Arcilla %	Limo%	Clase textural
Buena vista					
Barbecho	0-5	58.53	16.13	25.33	Franco arenoso
	5-10	61.87	16.8	21.33	Franco arenoso
Café	0-5	60.53	17.7	22.4	Franco arenoso
	5-10	61.7	16	22.93	Franco arenoso
Frijol	0-5	56.67	19.7	24.27	Franco arenoso
	5-10	58	26.67	15.33	Franco Arcillo Arenoso
Maíz	0-5	56.53	20.13	23.33	Franco Arcillo Arenoso
	5-10	56	19.33	24.67	Franco Arenoso
S. Desnudo	0-5	58.67	19.33	22	Franco Arenoso
	5-10	59.6	19.7	24.67	Franco Arenoso
Flor de café					
Barbecho	0-5	59.6	15.73	24.67	Franco Arenoso
	5-10	58.93	17.63	23.33	Franco Arenoso
Café	0-5	60.53	20.27	19.2	Franco Arcillo Arenoso
	5-10	58.8	22.27	18.93	Franco Arcillo Arenoso
Frijol	0-5	61.73	15.6	22.67	Franco Arenoso
	5-10	63.07	16.27	20.67	Franco Arenoso
Maíz	0-5	57.87	17.33	24.8	Franco Arenoso
	5-10	59.87	18.27	21.87	Franco Arenoso
S. Desnudo	0-5	59.47	19.33	21.2	Franco Arenoso
	5-10	60.13	19.2	20.67	Franco Arenoso
Pinabetal					
Barbecho	0-5	58.4	19.33	22.27	Franco Arenoso
	5-10	60.4	19.6	20	Franco Arenoso
Café	0-5	64.67	12.67	22.67	Franco arenoso
	5-10	66.93	12.8	20.27	Franco Arenoso
Frijol	0-5	57.73	21.87	20.4	Franco Arcillo Arenoso
	5-10	56.4	20.53	23.07	Franco Arenoso
Maíz	0-5	60.53	19.33	20.13	Franco Arenoso
	5-10	61.73	19.73	18.93	Franco Arenoso
S. Desnudo	0-5	63.47	18.93	17.6	Franco Arenoso
	5-10	58.8	16.67	24.53	Franco Arenoso

6.2.2. Densidad aparente del suelo

En la Tabla 5 se muestra la densidad aparente del suelo en las tres comunidades: Pinabetales, Buena Vista 1 y Flor del Café. Se observa que las medias de densidad aparente para las tres comunidades son estadísticamente similares y oscilan entre 1.14 y 1.45, lo que indica que presentan una densidad aparente ideal para el cultivo (Salamanca Jiménez et al. s. f.)

Tabla 5 Densidad aparente del suelo en los diferentes tipos de usos en las comunidades de la cuenca del Talgua, Catacamas Olancho.

Comunidades	Café	Maíz	Frijol	S. Desnudo*	Barbecho
g/cm ³					
Pinabetales	1.14 ^{A**}	1.36 ^A	1.36 ^A	1.21 ^A	1.39 ^A
Buena Vista	1.37 ^A	1.31 ^A	1.38 ^A	1.28 ^A	1.35 ^A
Flor del Café	1.45 ^A	1.43 ^A	1.35 ^A	1.42 ^A	1.21 ^A

*S. Desnudo; Suelos Desnudo. **Medias con letras mayúsculas se comparan entre filas y columnas, medias con misma letra son estadísticamente igual según tests de Tukey ($\alpha=0.05$, $n=6$).

La densidad aparente del suelo es un indicador importante de la compactación del suelo y su capacidad para retener aire y agua. En este caso, al tener una densidad aparente ideal, se sugiere que los suelos de las tres comunidades son propicios para el desarrollo de raíces, lo que a su vez favorece la agregación y estabilización del suelo. Este fenómeno es crucial para la estructura del suelo y afecta directamente su capacidad para retener nutrientes, agua y resistir la erosión, lo que influye en la productividad y sostenibilidad de los sistemas de cultivo en estas comunidades.

6.2.3. Estructura del suelo

Los datos recopilados en la investigación, basados en la clasificación de suelos de Dos Santos (2015), muestran que en las tres comunidades de la cuenca, la estructura del suelo es granular, con un tamaño que varía entre pequeño (1-2 mm) y mediano (2-5 mm) (Tabla 6).

Tabla 6 Estructura de los suelos en los diferentes tipos usos en las comunidades de la cuenca del Talgua, Catacamas Olancho.

Uso de suelo	Profundidad	Estructura	Tamaño
Comunidad de Buena Vista 1			
Barbecho	0-5	Granular	Pequeña 1-2 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Café	0-5	Granular	Pequeña 1-2 mm
	5-10	Granular	Pequeña 1-2 mm
Frijol	0-5	Granular	Pequeña 1-2 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Maíz	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Pequeña 1-2 mm
Suelo Desnudo	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Comunidad de Flor de café			
Barbecho	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Café	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Pequeña 1-2 mm
Frijol	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Maíz	0-5	Granular	Pequeña 1-2 mm
	5-10	Granular	Pequeña 1-2 mm
Suelo Desnudo	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Comunidad de Pinabetales			
Barbecho	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Café	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Frijol	0-5	Granular	Pequeña 1-2 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm
Maíz	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Pequeña 1-2 mm
Suelo Desnudo	0-5	Granular	Media 2-5 mm
	5-10	Granular	Media 2-5 mm

6.2.4. Estabilidad de agregados

En la Tabla 7, se presentan las medias del índice de estabilidad de los agregados de suelo en las tres comunidades de la cuenca del Talgua. En la comunidad de Pinabetales, los suelos de café, maíz y barbecho mostraron medias estadísticamente iguales, oscilando entre 3.24 mm y 3.29 mm, lo que indica una excelente estabilidad del suelo según Mataix-Solera et al. (s. f.) Los suelos de frijol y suelo desnudo tuvieron medias ligeramente más bajas, en el rango de 3.6 mm a 3.18 mm, pero dentro del intervalo establecido para una buena estabilidad de los agregados del suelo. Estos resultados sugieren que, en esta comunidad, estos cultivos han contribuido a mantener una estructura del suelo resistente a la desagregación.

En la comunidad de Buena Vista, el café mostró la media más baja (2.47), mientras que las demás medias fueron estadísticamente iguales, con rangos entre 2.55mm y 2.99mm. Por otro lado, en la comunidad de Flor del Café, las medias fueron estadísticamente iguales, con rangos entre 2.72mm y 3.00mm. En comparación, la comunidad de Buena Vista mostró una estabilidad ligeramente más baja en sus suelos. Sin embargo, dentro del rango adecuado de estabilidad, lo que sugiere que la estabilidad de estos suelos no ha sido afectada debido a las prácticas establecidas en esta comunidad.

Tabla 7 Índices de estabilidad de agregados del suelo para los diferentes tipos de usos en las diferentes comunidades de la cuenca del río Talgua

	Café	Maíz	Frijol	S. Desnudo*	Barbecho
	mm				
Pinabetal	3.29 ^{A**}	3.26 ^A	3.06 ^{ABC}	3.18 ^{AB}	3.24 ^A
Buena Vista	2.47 ^C	2.55 ^{BC}	2.91 ^{ABC}	2.84 ^{ABC}	2.99 ^{ABC}
Flor del Café	2.72 ^{ABC}	3.00 ^{ABC}	2.92 ^{ABC}	2.81 ^{ABC}	2.98 ^{ABC}

*S. Desnudo; Suelos Desnudo. **Medias con letras mayúsculas se comparan entre filas y columnas, medias con misma letra son estadísticamente igual según tests de Tukey ($\alpha=0.05$, $n=6$).

La estabilidad de los agregados se relaciona estrechamente con el tipo de uso del suelo en este experimento y con las comunidades estudiadas, así como con las variables evaluadas.

El índice de estabilidad de los agregados es fundamental para comprender la calidad del suelo bajo diferentes usos, ya que refleja su capacidad para resistir la erosión y mantener una estructura porosa que beneficia la retención de agua, la aireación y el desarrollo radicular de los cultivos. En el contexto de las comunidades estudiadas, los resultados de la Tabla 7 muestran que los suelos bajo el cultivo de café en Pinabetal presentan una alta estabilidad de agregados (3.29 A), lo que sugiere una estructura resistente a la desagregación, favoreciendo así el desarrollo de cultivos en esta comunidad. Por otro lado, en Buena Vista, el café muestra el índice de estabilidad más bajo (2.47 C), lo que indica una menor resistencia a la desagregación en comparación con otras comunidades y tipos de suelo.

En relación con las variables evaluadas en el experimento, se observa que el pH, la materia orgánica, la textura, la estructura y la densidad aparente del suelo influyen significativamente en la estabilidad de los agregados. Un pH apropiado, un contenido adecuado de materia orgánica, una textura y estructura porosa, junto con una densidad aparente favorable, pueden contribuir a la formación y mantenimiento de agregados estables en el suelo.

Es importante indicar que la estabilidad de los agregados al contacto con el agua no solo indica la resistencia del suelo a la erosión, sino que también está estrechamente relacionada con la capacidad del suelo para retener nutrientes, agua y sustentar la actividad biológica beneficiosa. Por lo tanto, los altos índices de estabilidad de los agregados reflejados en la Tabla 7 sugieren que estas comunidades y tipos de uso del suelo han mantenido una calidad favorable del suelo, lo que es crucial para la sostenibilidad y productividad de los sistemas de cultivo en la cuenca del río Talgua.

En general, estos resultados sugieren que los diversos tipos de uso del suelo en las comunidades han mantenido un nivel aceptable de estabilidad de los agregados del suelo, lo que indica una buena resistencia frente a la desagregación.

6.2.5. Correlaciones entre variables evaluadas en el estudio

En la Figura 11 se presentan distintas correlaciones representadas por colores: rojo para correlaciones positivas, blanco para correlaciones neutras y morado para correlaciones negativas. Destaca la correlación negativa entre el DMP y el fósforo, lo que indica que, a mayor cantidad de fósforo en el suelo, menor es el DMP. Asimismo, se resalta la correlación positiva entre el zinc y el cobre, lo que señala que, a mayor cantidad de zinc, también es mayor la cantidad de cobre, lo que indica una correlación positiva. Las demás correlaciones representadas en color blanco indican una correlación neutra entre los elementos y características del suelo.

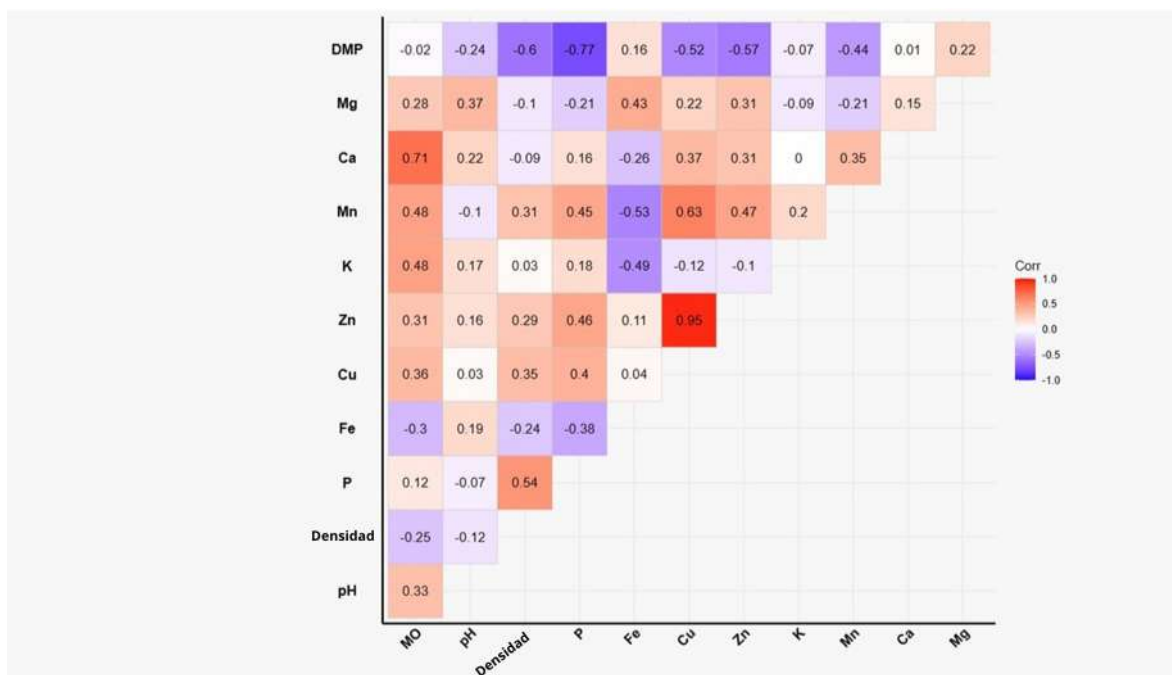


Figura 11 Tabla de correlaciones entre variables del suelos bajo diferentes usos

Como se indicó anteriormente, en los resultados presentados, la correlación entre el DMP (Diámetro Medio Ponderado) y el fósforo destaca por ser negativa, lo que indica que a medida que aumenta la cantidad de fósforo en el suelo, disminuye el DMP. Esto sugiere que el fósforo puede tener un efecto adverso en el Diámetro Medio Ponderado del suelo.

Por otro lado, la relación entre el DMP y la densidad del suelo es un aspecto relevante, ya que una correlación negativa indicaría que, a mayor Diámetro Medio Ponderado, menor

densidad del suelo, lo que sugiere una mayor porosidad. La falta de correlación con el pH del suelo no permite evaluar si existen patrones consistentes que indiquen cómo el nivel de acidez o alcalinidad del suelo puede influir en el Diámetro Medio Ponderado.

Las correlaciones podrían señalar la importancia de comprender cómo los nutrientes presentes en el suelo, la densidad y el pH pueden impactar el tamaño y la distribución de los agregados del suelo, lo que a su vez podría tener implicaciones significativas en la estructura y la calidad del suelo para el crecimiento de cultivos y la retención de nutrientes.

6.3. Análisis de componentes principales

En el Análisis de Componentes Principales (ACP), la Figura 12 muestra la selección de los componentes principales. Para esta selección, se consideraron aquellos componentes cuyos valores propios excedieran 1, lo que resultó en la identificación de un total de 3 componentes principales que en su conjunto explican más del 70.1% de la variabilidad total observada.

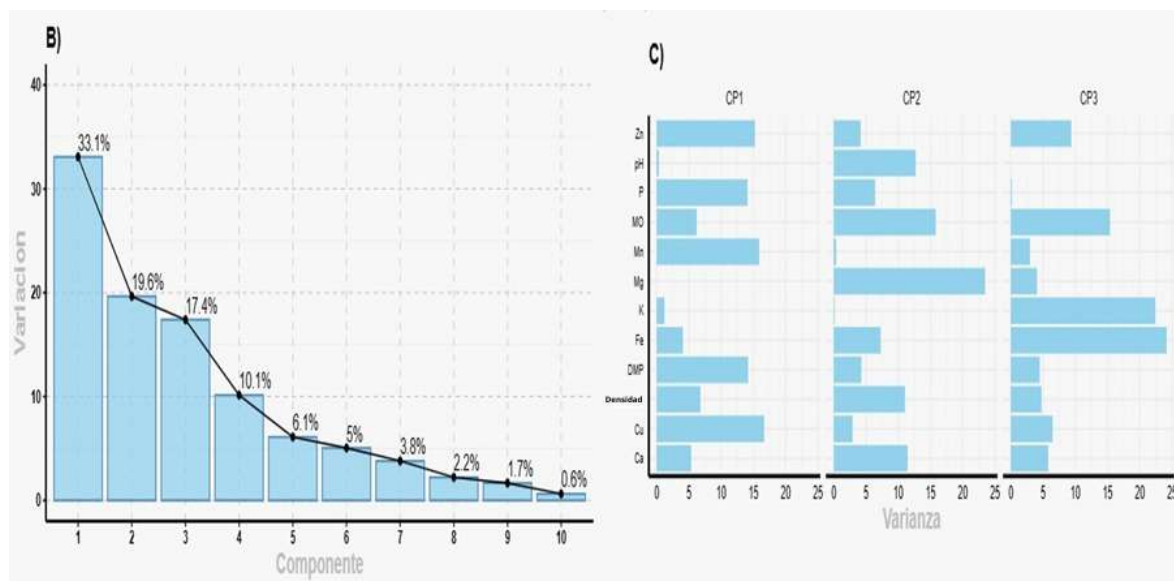


Figura 12 Gráfico de sedimentación del análisis de componentes principales

Entre estos, el suelo de café de la comunidad de Flor de Café presenta la mayor correlación con los dos primeros componentes principales, lo que lo posiciona como el suelo óptimo que se relaciona fuertemente con estos componentes. De manera similar, el suelo de frijol de Flor de Café también muestra correlación significativa con los componentes 1 y 2. En contraste,

el suelo con el uso de frijol de la comunidad de Buena Vista exhibe la correlación más débil con estos componentes, reflejando un valor neutro en la gráfica.

El análisis de componentes principales (ACP) de las variables medidas en las muestras de suelos de ladera bajo diferentes usos agrícolas en la cuenca del Talgua, ha proporcionado una representación visual de la relación entre múltiples variables y su contribución a la variabilidad observada en la estabilidad de los agregados del suelo (Figura 12).

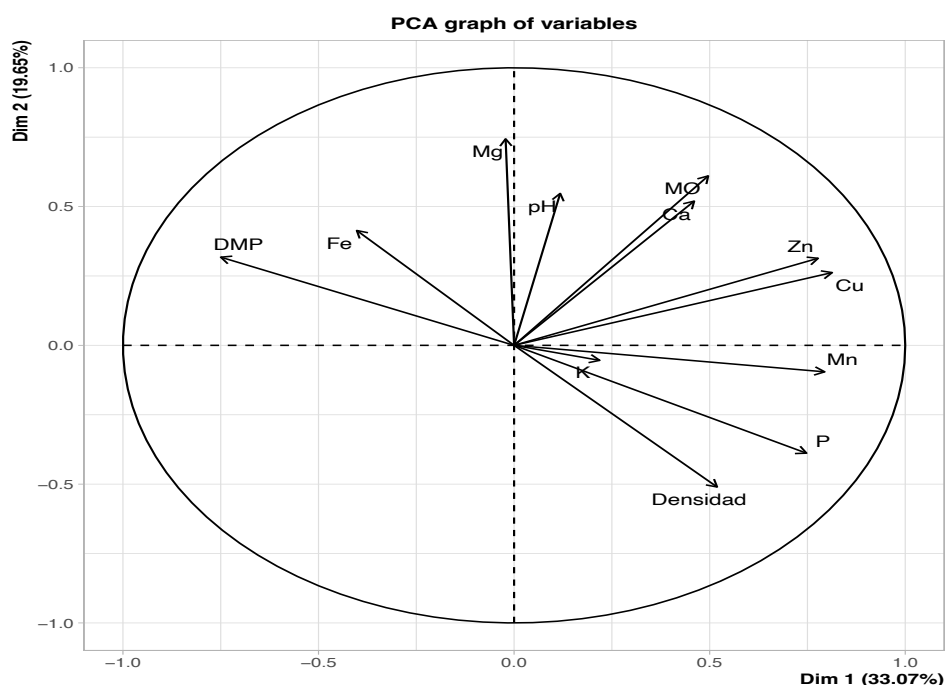


Figura 12 Representación multivariada bidimensional de la relación de variables con los primeros dos componentes principales.

En el primer componente principal (CP1), el cual parece estar influenciado por variables como el contenido de materia orgánica, pH, calcio, cobre y zinc, podría denominarse como el "Componente de Estructura y Composición del Suelo". Este componente refleja la variabilidad en la estructura y composición del suelo, sugiriendo una influencia importante en la estabilidad de los agregados.

Por otro lado, el segundo componente principal (CP2), el cual parece estar influenciado por variables relacionadas con nutrientes y propiedades físicas del suelo como manganeso, potasio, fósforo y densidad aparente, podría denominarse como el "Componente Nutricional

y Físico del Suelo". Este componente sugiere una variabilidad en las condiciones nutricionales y físicas del suelo, lo cual también puede tener un efecto en la estabilidad de los agregados. En este contexto, estas observaciones ofrecen una comprensión más profunda de cómo las distintas características del suelo están interrelacionadas y cómo contribuyen a la estabilidad de los agregados por efecto de los diferentes usos agrícolas en suelos de ladera en la cuenca del Talgua, Catacamas.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) y el contexto del análisis de la estabilidad de agregados en suelos de ladera en la cuenca del Talgua, Catacamas, refleja las relaciones entre usos del suelo, variables del suelo y las comunidades (Figura 13).

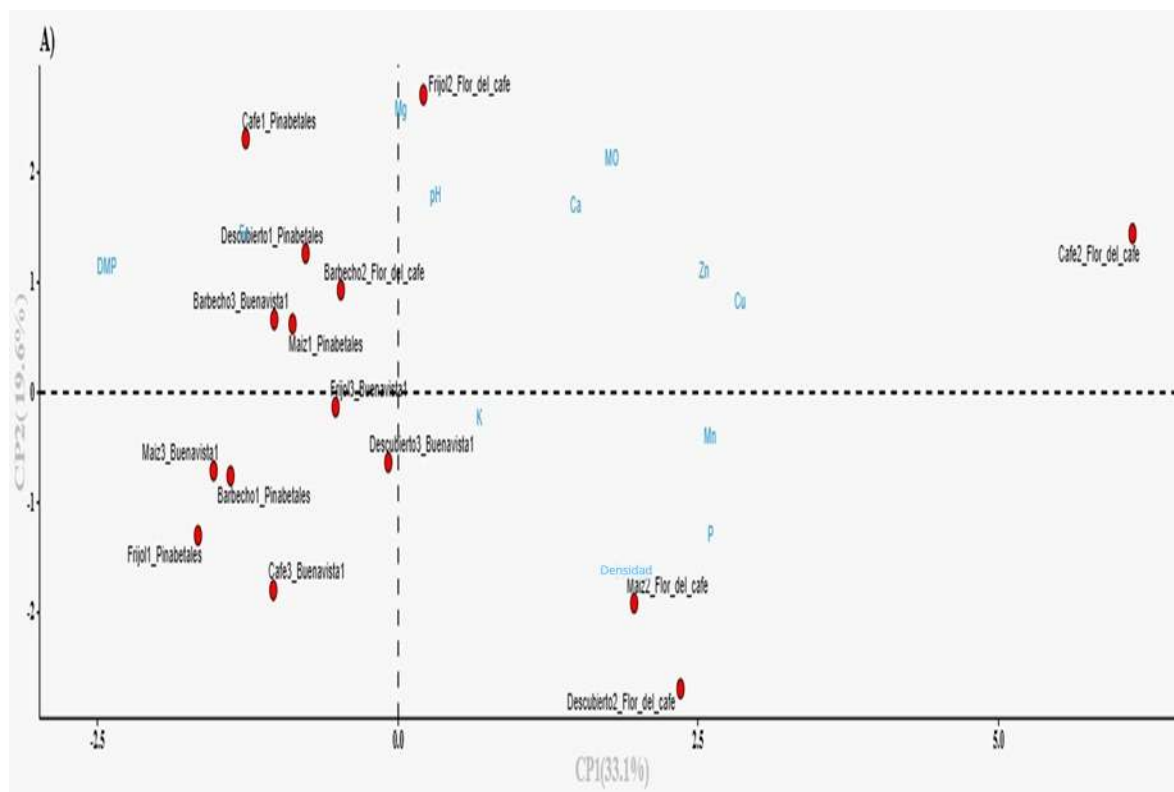


Figura 13. Relación entre las variables del suelo y los diferentes tipos de uso agrícola obtenido a partir del análisis de componentes principales.

Las observaciones en parcelas de frijol y barbecho de Pinabetales, y de maíz, frijol, café y suelo descubierto en la comunidad de Buena Vista 1, junto con la ausencia de variables específicas del suelo, podrían indicar que estos usos del suelo tienen una influencia limitada

en la variabilidad general explicada por los dos primeros componentes principales del Análisis de Componentes Principales (ACP). Esto sugiere que estas parcelas tienen una contribución menor a la variabilidad general del análisis de la estabilidad de los agregados.

Las observaciones específicas de suelo, en parcelas de suelo descubierto y maíz de la comunidad de Flor del café, junto con variables como la densidad aparente, P y Mn, que tienen una carga positiva en el primer componente principal pero una carga negativa en el segundo componente principal, pueden indicar una relación conjunta específica. Esta relación sugiere una contribución a la variabilidad general del análisis de la estabilidad de los agregados en función de los dos primeros componentes principales.

Las parcelas de café, suelo descubierto y maíz de la comunidad de Pinabetales, barbechos en las comunidades de Flor del Café y Buena Vista 1, junto con variables de suelo como el DMP y Fe, tienen una carga negativa en el primer componente principal con una carga positiva en el segundo componente principal. Esto también sugiere que podrían influir en la variabilidad general del análisis de la estabilidad de los agregados de los suelos.

Por otro lado, las parcelas de frijol y café de la comunidad de Flor del Café, junto con variables del suelo como Mg, pH, Ca, MO, Zn y Cu, que muestran cargas positivas en ambos componentes principales, sugieren una influencia conjunta significativa. Esto indica cómo estos usos del suelo y características del suelo pueden influir en la variabilidad general del análisis de la estabilidad de los agregados.

En general, el análisis realizado revela que ciertos usos y propiedades específicas del suelo tienen una influencia limitada en la variabilidad general del análisis de la estabilidad de los agregados, mientras que otras muestran una asociación significativa. Además, se destaca la importancia de las parcelas de frijol y café en la comunidad de Flor del Café, y las propiedades del suelo asociadas, en la variabilidad general del análisis de la estabilidad de los agregados del suelo en laderas de la cuenca del Talgua del municipio de Catacamas.

VII CONCLUSIONES

Los índices de estabilidad de los agregados en las diferentes comunidades muestran algunas tendencias. La comunidad que presenta la mayor estabilidad en los suelos es Pinabetales, específicamente en los usos de café, maíz y barbecho, con valores que oscilan entre 3.24 mm y 3.29 mm. El suelo con el índice más alto corresponde al uso de café, con una media de 3.29 mm; en contraste, el suelo más inestable es el desnudo, con una media de 3.06 mm. La comunidad de Buena Vista es la que muestra el índice de estabilidad más bajo, con medias que oscilan entre 2.47 mm y 2.99 mm, siendo el suelo de café el que presenta la media más baja. Por último, la comunidad de Flor del Café exhibe medias que varían entre 2.72 mm y 3.00 mm, siendo el suelo bajo el cultivo de maíz el que muestra el índice de estabilidad de agregados más alto.

La estabilidad de los agregados está influenciada por diversos factores físicos y químicos. Entre éstos, destaca la cantidad de materia orgánica, con valores promedio que van desde el 5.36%, indicando un buen porcentaje de materia orgánica, hasta el 2.51%, denotando un bajo porcentaje de la misma. El pH de los suelos son de ligeramente ácido a neutro, con valores promedio que oscilan entre 6.07 y 7.14, y una densidad aparente que varía entre 1.14 y 1.45.

Los cultivos de café y frijol ofrecen un entorno propicio para los procesos de formación y agregación del suelo, debido a la naturaleza perenne en el caso del café, su cobertura vegetal que favorece la retención de humedad, y su contribución con aportes en el contenido de materia orgánica, factor crucial en la agregación del suelo.

VIII RECOMENDACIONES

La estabilidad de los agregados es un factor crucial para la productividad de los suelos, por tanto, se recomienda realizar un análisis del uso inadecuado de los suelos tendientes a implementar medidas para controlar la erosión, lo que es fundamental para mantener los suelos agregados y estables. Estas medidas pueden incluir la siembra de barreras vivas y la implementación de prácticas de conservación de suelos.

Para fomentar la formación y estabilidad de los agregados en el suelo, se aconseja llevar a cabo un análisis detallado de estos factores en cada caso específico. A partir de esta evaluación, pueden implementarse estrategias de manejo adecuadas, como la incorporación de materia orgánica, ya que su aporte es fundamental para mejorar la estructura y estabilidad del suelo. El uso de compost, estiércol y otros materiales orgánicos puede contribuir a promover la formación de agregados estables al contacto con el agua.

Para optimizar la formación de agregados y fomentar la estabilidad del suelo, se recomienda mantener una cobertura vegetal que ayude a mejorar la estabilidad de agregados actuando como protección natural contra la erosión, contribuyendo a preservar la estructura del suelo.

IX BIBLIOGRAFÍA

- Andrés, A; Soria, I; Escuela, G; Panamericana, A; Honduras, Z. (2015). Lineamientos técnicos para una ley de conservación de suelos para la República de Honduras.
- Banegas, R. 2014. La materia orgánica del suelo. papel de los microorganismos. Ciencias Ambientales :1-11.
- Bottinelli. 2016. Soil Science Society of America Journal.
- Carlos Salazar. 2014. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.
- Docampo, R. 2014. Manejo En Producción Frutícola. Inia 67:81-89.
- FAO. 2012. Importancia de la Materia Orgánica del Suelo.
- _____. 2015. Erosion del suelo.
- _____. 2021. TEXTURA DEL SUELO.
- Gisbert Blanquer, nombre; Manuel, J; Ramón, M. (s. f.). LA TEXTURA DE UN SUELO.
- González-Chávez, M; Gutiérrez-Castorena, M; Wright, S. (2015). HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN LA AGREGACIÓN DEL SUELO Y SU ESTABILIDAD Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Aggregation and its Stability.
- Joey Williamson. 2015. pH del suelo.
- L. Rodriguez. 2016. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible Materia orgánica y actividad biológica Qué es y qué hace. :1-28.
- Lehmann. 2015. La formación de agregados del suelo es un proceso clave en la creación y mantenimiento de la estructura del suelo.
- Lobo, D. 2006. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos.
- Lobo L., D; Pulido M., M. 2011. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Venesuelos 14(1):22-37.

- Martines, A. 2018. Formación De Agregados De Suelo En La Interacción Suelo-Raíz-Microorganismos Endófitos: Micromorfología Y Análisis De Imágenes.
- Mataix-Solera, J; Benito, E; Andreu, V; Cerdà, A. (s. f.). LIBRO INCENDIOS II pags 85-144 (en línea). Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/229382623>.
- Najar, SS; Jesús, MA De; Jiménez, IN; Hernández, DG; Garduño, y VH; Monroy. 2015. Estabilidad De Agregados En Suelos Agrícolas. estabilidad de agregados en suelos agrícolas - CIOcongresos.cio.mx :22842.
- Poeplau. 2018. Agriculture, Ecosystems & Environment.
- Powelson. 2019. Qué son los agregados del suelo.
- Ryan; Cooper; Tauer. 2013. 済無No Title No Title No Title. Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents :12-26.
- Salamanca Jiménez, A; Siavosh, ;; Khalajabadi, S. (s. f.). LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.
- Sanchez, M. 2016. Soil Erosion and Agricultural Sustainability. In: Lichtfouse E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews 19.
- Dos Santos. 2015. Manual de descripción y recolección de suelos en el campo.
- Velasco, M. 2014. Comparación De La Estabilidad Estructural De Suelos De.
- Andrés, A; Soria, I; Escuela, G; Panamericana, A; Honduras, Z. (2015). Lineamientos técnicos para una ley de conservación de suelos para la República de Honduras.
- Banegas, R. 2014. La materia orgánica del suelo. papel de los microorganismos. Ciencias Ambientales :1-11.
- Bottinelli. 2016. Soil Science Society of America Journal.
- Carlos Salazar. 2014. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.
- Docampo, R. 2014. Manejo En Producción Frutícola. Inia 67:81-89.
- FAO. 2012. Importancia de la Materia Orgánica del Suelo.

_____. 2015. Erosion del suelo.

_____. 2021. TEXTURA DEL SUELO.

Gisbert Blanquer, nombre; Manuel, J; Ramón, M. (s. f.). LA TEXTURA DE UN SUELO.

González-Chávez, M; Gutiérrez-Castorena, M; Wright, S. (2015). HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN LA AGREGACIÓN DEL SUELO Y SU ESTABILIDAD Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Aggregation and its Stability.

Joey Williamson. 2015. pH del suelo.

L. Rodriguez. 2016. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible Materia orgánica y actividad biológica Qué es y qué hace. :1-28.

Lehmann. 2015. La formación de agregados del suelo es un proceso clave en la creación y mantenimiento de la estructura del suelo.

Lobo, D. 2006. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. .

Lobo L., D; Pulido M., M. 2011. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Venesuelos 14(1):22-37.

Martines, A. 2018. Formación De Agregados De Suelo En La Interacción Suelo-Raíz-Microorganismos Endófitos: Micromorfología Y Análisis De Imágenes.

Mataix-Solera, J; Benito, E; Andreu, V; Cerdà, A. (s. f.). LIBRO INCENDIOS II pags 85-144 (en línea). Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/229382623>.

Najar, SS; Jesús, MA De; Jiménez, IN; Hernández, DG; Garduño, y VH; Monroy. 2015. Estabilidad De Agregados En Suelos Agrícolas. estabilidad de agregados en suelos agrícolas - CIOcongresos.cio.mx :22842.

Poeplau. 2018. Agriculture, Ecosystems & Environment.

Powelson. 2019. Qué son los agregados del suelo.

Ryan; Cooper; Tauer. 2013. 済無No Title No Title No Title. Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents :12-26.

Salamanca Jiménez, A; Siavosh, ;; Khalajabadi, S. (s. f.). LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.

Sanchez, M. 2016. Soil Erosion and Agricultural Sustainability. In: Lichtfouse E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews 19.

Dos Santos. 2015. Manual de descripción y recolección de suelos en el campo. s.l., s.e.

Velasco, M. 2014. Comparación De La Estabilidad Estructural De Suelos De

ANEXOS

Anexo 1 Análisis estadístico para pH

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63698

Error: 0.0983 gl: 68

Cultivo	Loc	Medias	n	E.E.		
Frijol	FlorDeCafé	7.14	6	0.13	A	
Barbecho	FlorDeCafé	6.73	6	0.13	A	B
Maiz	FlorDeCafé	6.45	6	0.13		B C
Cafe	FlorDeCafé	6.40	6	0.13		B C
Barbecho	BuenaVista	6.35	6	0.13		B C
Cafe	BuenaVista	6.35	6	0.13		B C
Cafe	Pinabetales	6.31	6	0.13		B C
Frijol	Pinabetales	6.28	6	0.13		B C
S. Desnudo	Pinabetales	6.28	6	0.13		B C
Frijol	BuenaVista	6.27	6	0.13		B C
S. Desnudo	BuenaVista	6.24	6	0.13		B C
Maiz	Pinabetales	6.11	6	0.13		B C
Maiz	BuenaVista	6.09	6	0.13		B C
S. Desnudo	FlorDeCafé	6.08	6	0.13		C
Barbecho	Pinabetales	6.07	6	0.13		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 2 Análisis estadístico para Materia Orgánica

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.44485

Error: 0.5057 gl: 68

Cultivo	Loc	Medias	n	E.E.				
Cafe	Pinabetales	5.36	6	0.29	A			
Frijol	FlorDeCafé	4.99	6	0.29	A	B		
Cafe	FlorDeCafé	4.92	6	0.29	A	B		
Barbecho	FlorDeCafé	4.73	6	0.29	A	B	C	
S. Desnudo	Pinabetales	4.72	6	0.29	A	B	C	
Barbecho	BuenaVista	4.68	6	0.29	A	B	C	
Maiz	FlorDeCafé	4.67	6	0.29	A	B	C	
Maiz	Pinabetales	4.49	6	0.29	A	B	C	D
S. Desnudo	BuenaVista	4.33	6	0.29	A	B	C	D
Maiz	BuenaVista	3.81	6	0.29		B	C	D E
Barbecho	Pinabetales	3.71	6	0.29		B	C	D E
Frijol	BuenaVista	3.67	6	0.29		B	C	D E
S. Desnudo	FlorDeCafé	3.39	6	0.29			C	D E
Frijol	Pinabetales	3.15	6	0.29				D E
Cafe	BuenaVista	2.51	6	0.29				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 3 Análisis estadístico para Densidad Aparente

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.34171

Error: 0.0283 gl: 68

Cultivo	Loc	Medias	n	E.E.	
Cafe	FlorDeCafé	1.45	6	0.07	A
Maiz	FlorDeCafé	1.43	6	0.07	A
S. Desnudo	FlorDeCafé	1.42	6	0.07	A
Barbecho	Pinabetales	1.39	6	0.07	A
Frijol	BuenaVista	1.38	6	0.07	A
Cafe	BuenaVista	1.37	6	0.07	A
Maiz	Pinabetales	1.36	6	0.07	A
Frijol	Pinabetales	1.36	6	0.07	A
Barbecho	BuenaVista	1.35	6	0.07	A
Frijol	FlorDeCafé	1.35	6	0.07	A
Maiz	BuenaVista	1.31	6	0.07	A
S. Desnudo	BuenaVista	1.28	6	0.07	A
S. Desnudo	Pinabetales	1.21	6	0.07	A
Barbecho	FlorDeCafé	1.21	6	0.07	A
Cafe	Pinabetales	1.14	6	0.07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 4 Análisis estadístico para Diámetro Medio Ponderado (DMP)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63577

Error: 0.0979 gl: 68

Cultivo	Loc	Medias	n	E.E.			
Cafe	Pinabetales	3.29	6	0.13	A		
Maiz	Pinabetales	3.26	6	0.13	A		
Barbecho	Pinabetales	3.24	6	0.13	A		
S. Desnudo	Pinabetales	3.18	6	0.13	A	B	
Frijol	Pinabetales	3.06	6	0.13	A	B	C
Maiz	FlorDeCafé	3.00	6	0.13	A	B	C
Barbecho	BuenaVista	2.99	6	0.13	A	B	C
Barbecho	FlorDeCafé	2.98	6	0.13	A	B	C
Frijol	FlorDeCafé	2.92	6	0.13	A	B	C
Frijol	BuenaVista	2.91	6	0.13	A	B	C
S. Desnudo	BuenaVista	2.84	6	0.13	A	B	C
S. Desnudo	FlorDeCafé	2.81	6	0.13	A	B	C
Cafe	FlorDeCafé	2.72	6	0.13	A	B	C
Maiz	BuenaVista	2.55	6	0.13		B	C
Cafe	BuenaVista	2.47	6	0.13			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)