



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos Micorrízicos sobre la evolución de la macro porosidad del suelo y el crecimiento de caféto (*Coffea-Arabica* L) en la Argelia, provincia de Loja.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrícola

AUTORA:

July Elizabeth Obaco Cajas

DIRECTOR:

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 30 de marzo de 2023

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján. Mg. Sc
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos Micorrízicos sobre la evolución de la macro porosidad del suelo y el crecimiento de cafeto (*Coffea-Arabica* L) en la Argelia, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola, de autoría de la estudiante **July Elizabeth Obaco Cajas**, con cédula de identidad Nro. **1105685869**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Atentamente:



Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján Mg. Sc.
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **July Elizabeth Obaco Cajas** declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma



Cédula de identidad: 1105685869

Fecha: 10/06/2024

Correo electrónico: july.obaco@unl.edu.ec

Celular: 0982768264

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **July Elizabeth Obaco Cajas**, declaro ser la autora del Trabajo de Titulación denominado: **Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos Micorrízicos sobre la evolución de la macro porosidad del suelo y el crecimiento de cafeto (*Coffea-Arabica* L) en la Argelia, provincia de Loja**, como requisito para optar por el Título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, muestre la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los diez días del mes de junio de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autora: July Elizabeth Obaco Cajas

Cédula de identidad: 1105685869

Dirección: El Pedestal, Loja Ecuador

Correo electrónico: july.obaco@unl.edu.ec

Celular: 0982768264

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján Mg. Sc.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico con todo mi amor, respeto y orgullo a mis padres Fredi Obaco, Bedia Cajas, a mi papito Miguel Obaco que está en el cielo y está presente en mi corazón, a mi mamita Rosa Chamba, a mis hnos. Jessica, Kevin, Josué, a mis hijos Isabel Alejandra, Thiago David, a mi querido esposo Pablo David, a mi suegro Arsecio Sigcho quienes han sido mi base y mi motivación para poder avanzar en mis estudios.

July Elizabeth Obaco Cajas

Agradecimiento

Primeramente, agradecerle a Dios por haberme brindado la sabiduría para culminar de manera mi carrera universitaria.

A la Universidad Nacional de Loja, a toda la planta docente y administrativos de la Carrera de Ingeniería Agrícola, que, con paciencia, supieron otorgarme sus conocimientos que contribuyeron a mi formación profesional.

Al director del proyecto, Mg. Sc Miguel Villamagua por darme la oportunidad de formar parte del mismo, por su apoyo y confianza para llevarlo a cabo.

A mi directora de tesis, Mg. Sc Fernanda Margoth Livisaca Loján, que con muy buena disposición y entusiasmo me brindó la orientación y un asesoramiento constante para lograr culminar con éxito mi investigación.

Mi agradecimiento para mis compañeros de cuarto ciclo, a mi amiga Dayana y Ángel por colaborar con sus conocimientos y contribuir en el desarrollo de la investigación.

Finalmente, agradezco a mis familiares, amigos por su apoyo, amistad, confianza y a todas las personas que contribuyeron a que pueda hacer realidad este sueño.

July Elizabeth Obaco Cajas

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Índice de Anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Propiedades físicas del suelo.....	6
4.1.1. Textura del suelo.....	6
4.1.2. Estructura del Suelo	7
4.1.3. Color	7
4.1.4. Porosidad	7
4.1.5. Densidad Real.....	8
4.1.6. Densidad Aparente.....	8
4.2. Contenido de agua en el suelo.....	9
4.2.1. Energía del agua en el suelo	9
4.2.2. Potencial del agua del suelo.....	10
4.2.3. Infiltración.....	10
4.3. Curva característica de humedad del suelo.....	10
4.3.1. Saturación	11
4.3.2. Capacidad de Campo.....	11
4.3.3. Punto de marchitez permanente.....	12
4.3.4. Agua Aprovechable	12
4.3.5. Capacidad de aireación.....	12
4.4. Compactación del suelo	13

4.5.	Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	13
4.6.	Enmiendas Orgánicas	14
4.3.6.	Nutrisano.....	15
4.4.	Hongos micorrízicos.....	15
4.5.	Sepas de micorrizas.....	16
4.5.1.	Beneficios al suelo.....	17
4.5.2.	Beneficios a la planta	18
4.6.	Hongos micorrízicos arbusculares en la aireación del suelo.....	19
4.7.	Cultivo de café.....	19
4.7.1.	Variedad de café Geisha Panamá	20
4.7.2.	Temperatura.....	20
4.7.3.	Morfología del cafeto	20
4.8.	Sistemas Agroforestales asociados con el Café.....	22
5.	Metodología.....	23
5.1.	Ubicación política, geográfica y características del área de estudio.....	23
5.1.	Aspectos biofísicos.....	23
5.2.	Materiales y equipos.....	24
5.3.	Diseño experimental.....	24
5.4.	Metodología para el primer objetivo: caracterizar físicamente los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia.....	27
5.5.	Metodología para el segundo objetivo: determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del cafeto en su etapa inicial....	30
6.	Resultados.....	35
6.1.	Resultados del primer objetivo: caracterización física de los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia.....	35
6.1.1.	Material Parental	35
6.1.2.	Regímenes de Humedad y temperatura del suelo.....	35
6.1.3.	Procesos de formación de los suelos	35
6.1.4.	Clasificación Taxonómica.....	41
6.1.5.	Características físicas de los suelos.....	41
6.1.6.	Curvas Características de humedad.....	42
6.1.7.	Velocidad de Infiltración	44
6.2.	Resultados del segundo objetivo: determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del cafeto en su etapa inicial....	44

6.2.1. Variables dasométricas en el cultivo del cafeto	45
7. Discusión.....	53
7.1. Caracterizar físicamente los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia...53	
7.2. Determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del cafeto en su etapa inicial.....	54
8. Conclusiones.....	56
9. Recomendaciones.....	57
10. Bibliografía.....	58
11. Anexos.....	65

Índice de Tablas

Tabla 1. Relación entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.....	9
Tabla 2. Clasificación de la velocidad de infiltración.	10
Tabla 3. Valores promedios y rangos de las características físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador.....	12
Tabla 4. Clasificación Taxonómica de los hongos.	16
Tabla 5. Distribución de raíces totales del cafeto a diversas profundidades (en % del total)....	21
Tabla 6. Factores de estudio de la unidad experimental.	24
Tabla 7. Tratamientos.....	27
Tabla 8. Dosis aplicadas por tratamiento de Abono orgánico (AO) (kg de Nutrisano) y Hongos micorrízicos arbusculares (HMA).....	31
Tabla 9. Propiedades físicas del suelo en sistema agroforestal en la Quinta experimental la “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector los Molinos, 2022.	41
Tabla 10. Propiedades físicas del suelo de los dieciséis tratamientos en la Quinta experimental la “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector los Molinos, 2022.....	42
Tabla 11. Velocidad de infiltración cm/h en los tres perfiles de suelo.....	44
Tabla 12. Altura de planta (cm) de junio hasta septiembre.	45
Tabla 13. Análisis de regresión lineal para altura de cafeto en sus diferentes tratamientos de junio hasta septiembre.	46
Tabla 14. Número de hojas de cafeto de junio hasta septiembre.....	48
Tabla 15. Análisis de regresión lineal del número de hojas del cafeto en sus diferentes tratamientos de junio hasta septiembre.	49
Tabla 16. Diámetro del tallo (mm) de junio hasta septiembre.	50
Tabla 17. Análisis de regresión lineal del diámetro del tallo del cafeto en sus diferentes tratamientos de junio hasta septiembre.	51

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama triangular de las clases básicas del suelo según el tamaño de las partículas.....	6
Figura 2. Curvas de retención de humedad del suelo.....	11
Figura 3. Diagrama triangular para evaluar la condición física de los suelos para el crecimiento de las plantas.	13
Figura 4. Esquema de micorrizas en simbiosis con la raíz de una Planta.....	15
Figura 5. Tipos de micorrizas.	17
Figura 6. Mapa de ubicación del campo experimental, provincia de Loja, barrio La Argelia, sector Los Molinos (UNL).....	23
Figura 7. Diseño experimental.....	26
Figura 8. Inoculación de hongos micorrízicos.....	32
Figura 9. Perfil 1 sector Los Molinos, 2022.....	36
Figura 10. Perfil 2 sector Los Molinos, 2022.....	38
Figura 11. Perfil 3 sector Los Molinos, 2022.....	39
Figura 12. Curva de retención de humedad de la calicata 1.	43
Figura 13. Curva de retención de humedad de la calicata 2.	43
Figura 14. Curva de retención de humedad de la calicata 3.	44
Figura 15. Modelo de regresión lineal para altura de las plantas de cafeto de junio hasta septiembre.....	46
Figura 16. Incremento de la altura de junio hasta septiembre.	47
Figura 17. Modelo lineal del número de hojas de junio hasta septiembre.....	48
Figura 18. Incremento del número de hojas de junio hasta septiembre.....	49
Figura 19. Modelo lineal del diámetro del tallo de junio hasta septiembre.....	51
Figura 20. Incremento del diámetro del tallo de junio hasta septiembre.....	52

Índice de Anexos

Anexo 1. Toma de muestras, para determinar la densidad aparente.....	65
Anexo 2. Resultados de las propiedades hidrofísicas.....	65
Anexo 3. Curva de retención de humedad del suelo del tratamiento 1 al 16	71
Anexo 4. Velocidad de infiltración de los perfiles uno al tres	78
Anexo 5. Descripción general de los tres perfiles de suelo en la Quinta experimental la “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector los Molinos, 2023.	79
Anexo 6. pH por tratamiento.....	80
Anexo 7. Aplicación de hongos micorrízicos en planta de café.	82
Anexo 8. Dosificación de Nutrisano.....	82
Anexo 9. Trasplante de cafeto.....	83
Anexo 10. Análisis de varianza de altura de planta, Sector los Molinos 2023.....	83
Anexo 11. Análisis de varianza del incremento de altura de planta, Sector los Molinos 2023...85	
Anexo 12. Análisis de varianza número de hojas, Sector los Molinos 2023.....	86
Anexo 13. Análisis de varianza del incremento de números de hojas (0-90 días), Sector los Molinos 2023.	88
Anexo 14. Análisis de varianza diámetro del tallo de 90, Sector los Molinos 2023.	89
Anexo 15. Análisis de varianza del incremento del diámetro del tallo (0-90 días), Sector los Molinos 2023.	91
Anexo 16 Tríptico del proyecto de investigación, Sector los Molinos 2023.....	93
Anexo 17. Carta geológica Gonzanamá.....	95
Anexo 18. Traducción del Abstract	96

1. Título

Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos Micorrízicos sobre la evolución de la macro porosidad del suelo y el crecimiento de cafeto (*Coffea-Arabica* L) en la Argelia, provincia de Loja.

2. Resumen

La variedad *Coffea Arabica* es significativa para la economía agrícola de Loja, representando el 9,71% del área agrícola total. Sin embargo, el cultivo del café enfrenta desafíos relacionados con la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas frente a ello surgen alternativas como, la implementación de enmiendas orgánicas y la simbiosis con hongos Micorrízicos, técnicas que, por su eficacia en mejorar la macro porosidad del suelo, resulta en una mejor absorción de agua y nutrientes, y, por ende, en una mayor productividad de los cafetales.

En la Estación Experimental La Argelia, ubicada a 2 130 m s.n.m., los suelos se clasifican como Oxyaquic Udifluvents, caracterizados por estar constituidos por eventos aluviales poco consolidados como: cantos rodados, bloques de rocas metamórficas y volcánicas. Una de las principales limitantes que enfrentan estos suelos es la baja capacidad de aireación del suelo, que limita el intercambio gaseoso del CO₂ y O₂ en la zona radicular. Bajo este contexto con el objetivo de mejorar la macro porosidad se aplicó abonos orgánicos (AO: 0, 6, 8 y 10 %) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA: 0, 10, 20 y 30 encapsulados), en un diseño experimental bifactorial con tres réplicas, 16 unidades experimentales. La densidad aparente de los perfiles del suelo fue de 1,11 a 1,49 g/cm³; capacidad de aireación entre media a baja, contenido de agua aprovechable (12,76 – 16,28 %), valor de Volumen físicamente Inerte (68,56 – 80,33 %). Según el diagrama triangular del suelo y para los parámetros estudiados el suelo corresponde a la zona muy pobre a medio. En conclusión, estadísticamente no presentó significancia en la interacción de los factores hongos micorrízicos y abonos orgánicos, sin embargo, para el factor de abonos orgánicos hubo significancia del 22% durante la etapa inicial (0 a 90 días), respectivamente para la altura de las plantas de café.

Palabras clave: Hongos micorrízicos, abonos orgánicos, estructura del suelo, porosidad, cultivo de café.

Abstract

The *Coffea Arabica* variety is significant for the agricultural economy of Loja, representing 9.71% of the total agricultural area. However, coffee cultivation faces challenges related to soil quality and plant growth. Alternatives arise, such as the implementation of organic amendments and symbiosis with mycorrhizal fungi, techniques that, due to their effectiveness in improving macro soil porosity, results in better absorption of water and nutrients, and, therefore, in greater productivity of coffee plantations.

At the La Argelia Experimental Station, located at 2,130 m s.n.m., the soils are classified as Oxyaquic Udifluvents, characterized by being made up of poorly consolidated alluvial events such as: boulders, blocks of metamorphic and volcanic rocks. One of the main limitations faced by these soils is the low aeration capacity of the soil, which limits the gas exchange of CO₂ and O₂ in the root zone. Under this context, with the objective of improving macro porosity, organic fertilizers (OA: 0, 6, 8 and 10%) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF: 0, 10, 20 and 30 encapsulated) were applied, in a two-factor experimental design with three replicates, 16 experimental units. The apparent density of the soil profiles was 1,11 to 1,49 g/cm³; aeration capacity between medium to low, usable water content (12,76 – 16,28%), Physically Inert Volume value (68,56 – 80,33%). According to the triangular diagram of the soil and for the parameters studied, the soil corresponds to the very poor to medium zone. In conclusion, there was no significance for the organic fertilizer factor during the initial stage (0 to 90 days), respectively for the height of the coffee plants, this is because the study time is very short, however, the trend is linear growth.

Key words: Mycorrhizal fungi, organic fertilizers, soil structure, porosity, coffee cultivation.

3. Introducción

El café es un producto emblemático de Ecuador, su dinamismo a lo largo del tiempo ha generado efectos positivos en el desarrollo económico, social y ecológico (Robles Torres, 2012). A nivel nacional se produce dos variedades de café: café arábico (*Coffea arabigo* L.), con un rendimiento neto de (0,23 t/ha); y café robusto (*Coffea canephora*) con un rendimiento de (0,49 t/ha). La mayor parte de la producción cafetalera corresponde al arábica (85%), mientras que el robusta representa el 15% restante. La caficultura es una actividad de gran relevancia para los ecuatorianos, pues genera ingresos, empleo y conservación ambiental (Rodríguez, 2019).

Según los datos de la encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria del Instituto Nacional de estadísticas y censos (INEC, 2021), las provincias con mayor rendimiento en la producción de café son: Carchi (0,97 t ha⁻¹), Zamora Chinchipe (0,70 t ha⁻¹), Morona Santiago (0,59 t ha⁻¹), Manabí (0,52 t ha⁻¹), Imbabura (0,49 t ha⁻¹), Pichincha (0,43 t ha⁻¹); mientras que las de menor producción son: Napo y Pastaza (0,08 t ha⁻¹). En la provincia de Loja el rendimiento es medio de (0,50 t ha⁻¹) y una producción de 1,325 t ha⁻¹.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca MAGAP, (2021) manifiesta que la producción de café, en particular la variedad *Coffea Arabica*, desempeña un papel fundamental en la economía agrícola de la provincia de Loja, de la cual el 9,71 % de área total corresponde a café (7457 ha). Sin embargo, el cultivo del café enfrenta desafíos significativos relacionados con la calidad del suelo y el crecimiento de las plantas. La macro porosidad del suelo es un factor crucial que afecta la disponibilidad de agua y nutrientes. En este contexto, la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos Micorrízicos se ha convertido en una práctica agrícola prometedora para mejorar la salud del suelo y aumentar la productividad de los cafetos.

Por otro lado, la disminución de la porosidad ha conllevado a que se reduzca la aireación y el intercambio de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) en la zona radicular, ocasionada por la presencia de texturas finas y al sobre pastoreo de ganado bovino que compactan estas superficies dañando la macro porosidad de los suelos. (Valarezo et al., 1998).

El uso combinado de micorrizas y abonos orgánicos beneficia la porosidad del suelo. Las micorrizas mejoran la absorción de nutrientes y agua, promoviendo una estructura porosa que facilita la aireación y el drenaje (Callejas et al., 2009). Por su parte, los abonos orgánicos enriquecen el suelo con materia orgánica, fomentando la actividad microbiana y generando agregados que contribuyen a la porosidad. En conjunto, esta simbiosis optimiza la disponibilidad

de nutrientes, promueve la salud de las plantas y mejora la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (López et al., 2001).

Bajo este contexto Valarezo et al. (2003), demostraron que, con la incorporación del 30, 40 y 50 % de arena silícica a un suelo arcilloso, se incrementó la capa de aireación, mejorando las condiciones físicas desde el rango pobre a muy bueno, elevando significativamente el rendimiento de los cultivos bajo invernadero de tomate 45%, cebolla de bulbo 117% y pepino 59%.

De igual manera, Jamiołkowska et al. (2018), señalan que los suelos con baja fertilidad y limitada capa arable, presentan una actividad micorrízica y una población de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) muy reducidas, lo que afecta negativamente a la simbiosis entre las plantas y estos hongos. Además, la excesiva compactación del suelo dificulta el crecimiento de las plantas y la esporulación de los HMA.

Por tal razón la presente investigación pretende dar soluciones a los diferentes problemas de aireación de suelos y producción en los cafetales de la Región Sur del Ecuador, aplicando conocimientos teóricos prácticos mediante ensayos en campo para determinar los beneficios que diferentes enmiendas orgánicas y consorcios de hongos micorrízicos con respecto a la aireación del suelo, desarrollo foliar y radicular de las plantas de cafeto, por lo cual se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo General

- Contribuir al mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos a través del uso de enmiendas orgánicas y consorcios de hongos micorrízicos nativos, en la perspectiva de elevar el crecimiento inicial del cafeto en el sistema agroforestal de La Argelia.

Objetivos específicos

- Caracterizar físicamente los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia.
- Determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del cafeto en su etapa inicial.

4. Marco teórico

4.1. Propiedades físicas del suelo

Según el Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura (INTAGRI, 2017), menciona que el suelo es un recurso natural no renovable compuesto por sustancias sólidas, agua y aire. La proporción en la que se encuentren estos componentes le confiere al suelo propiedades físicas, químicas y biológicas propias. Entre las propiedades físicas se encuentran:

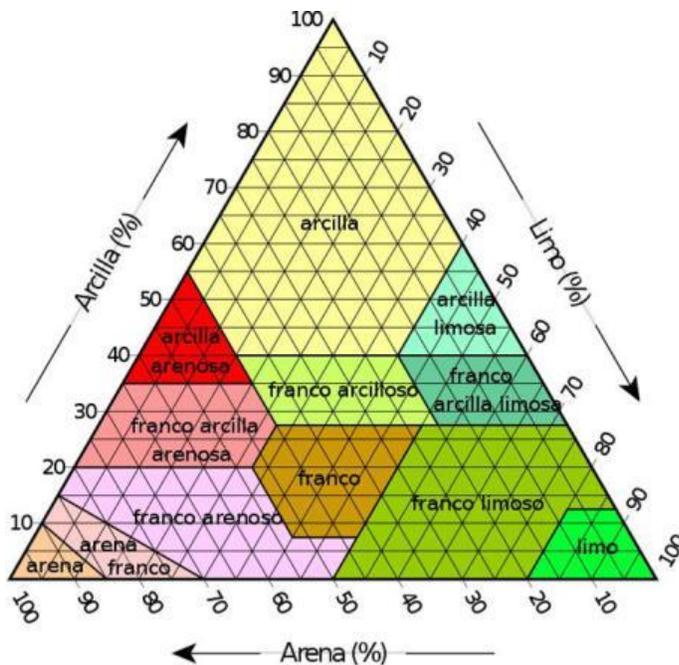
4.1.1. Textura del suelo

FAO (2022), expresa que la textura se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla, para su clasificación se utiliza el diagrama triangular como se observa en la Figura 1.

Además, es la característica más permanente del suelo e influye decisivamente sobre otras propiedades tales como: estructura, consistencia, régimen de humedad, permeabilidad, tasa de infiltración, tasa de escurrimiento superficial, erodabilidad, trabajabilidad, penetración de raíces y fertilidad (Valarezo *et al.*, 2000).

Figura 1.

Diagrama triangular de las clases básicas del suelo según el tamaño de las partículas.



Fuente: FAO (2009).

4.1.2. Estructura *del Suelo*

La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión (FAO, 2022).

Por otra parte, Ravi et al. (1968) menciona que la estructura juega un rol fundamental en muchos procesos del suelo y su interacción con las plantas: erosión, infiltración de agua, exploración radicular, aireación y resistencia mecánica, esto indica que todas las prácticas agronómicas deberían hacerse con carácter de conservación de la misma.

4.1.3. *Color*

El color del suelo, una de las características morfológicas más importantes y fácilmente identificable. Esta característica está íntimamente relacionada con el contenido de sólidos, que abarca la materia orgánica, textura, composición mineral y morfología del suelo. Por consiguiente, la determinación del color del suelo se logra mediante la comparación de este color con diversos patrones establecidos en la tabla Munsell (Moreno et al., 2010).

4.1.4. *Porosidad*

La porosidad del suelo es el volumen ocupado por las fases líquida y/o gaseosa. Posee gran importancia en la penetración radicular, percolación del agua, difusión de los gases, etc. Se calcula a partir de la densidad real y aparente, resulta de la suma de la porosidad capilar (relacionada con retención de humedad) y de la porosidad no capilar (intercambio gaseoso). La relación de la macroporosidad/porosidad total indicará si la aireación es suficiente o deficiente de una manera global (Rodríguez & Aramendía, 2015).

Ecuación 1.

$$P=1-\frac{D_a}{D_r}*100$$

P: Porosidad %

Da: Densidad aparente (g cm⁻³)

Dr: Densidad real (g cm⁻³)

Según Calvache (2010), manifiesta que la porosidad es un índice del volumen relativo de poros en el suelo. Este valor se encuentra por lo general en el rango 0,3 – 0,7 (30 – 70 %). Los suelos de texturas gruesas tienden a ser menos porosos que aquellos de textura fina, aunque el tamaño promedio de los poros individuales es mayor en el primero que en el segundo tipo de suelo.

Los poros pueden clasificarse en función de su tamaño medio en:

- Macro poros (más de 0,2 mm);

- Poros medios (de 0,2 a 0,02 mm);
- Poros finos (de 0,02 a 0,002 mm) y,
- Muy finos (menores de 0,002 mm).

Para que el suelo esté bien aireado el tamaño de los poros es muy importante, ya que el agua drena por gravedad a través de los de tamaño superior a 0,05 mm. Es decir, para el crecimiento de las plantas el tamaño de los poros resulta de mayor importancia que la porosidad total.

4.1.5. *Densidad Real*

Valarezo *et al.* (1998), argumenta que la densidad real es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo, siendo más o menos constante, ya que está determinado por la composición química y mineralógica de la fase sólida. El peso específico de los componentes del suelo es variado, los componentes del suelo (aluminosilicatos, sílice) tienen una densidad que oscila entre 2,6 y 2,7 g cm³, se adopta un promedio de 2,65 g. cm³ para realizar el análisis granulométrico.

Para calcular la densidad real se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 2. } D_r = \frac{M_s}{V_s}$$

Donde:

Dr: Densidad Real (g cm⁻³)

Ms: Masa de Sólidos (g)

Vs: Volumen de Sólidos (cm³)

4.1.6. *Densidad Aparente*

Es importante para el manejo de los suelos porque refleja la facilidad de circulación de agua, aire. En la Tabla 1. Se encuentran los rangos de la densidad aparente y crecimiento radicular de acuerdo a la textura según departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Ecuación 3.

$$D_a = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_a + V_w}$$

Donde:

Da= densidad aparente (g cm⁻³)

Ms= masa de sólidos (gr)

Vt= volumen total (cm³)

V_a= volumen de aire (cm³)

V_w= volumen de agua (cm³)

Tabla 1.

Relación entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidad aparente (g cm ⁻³)		
	Ideal	Tolerable	Inadecuada
Ao; Ao-Fo.	< 1,60	1,69	>1,80
Fo-Ao; Fo.	< 1,40	1,63	>1,80
Fo-Ac-Ao; Fo; Fo-Ao.	< 1,40	1,60	>1,75
Lo; Fo-Lo.	< 1,30	1,60	>1,75
Fo-Lo; Fo-Ao-Lo.	< 1,40	1,55	>1,65
Ao-Ao, Ao-Lo, Fo-Ao (35-45 % arcilla)	< 1,10	1,39	>1,58
Ao(>45 % arcilla)	< 1,10	1,39	>1,47

Fuente:
(USDA, 1999).

4.2. Contenido de agua en el suelo

El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas, el agua almacenada afecta la formación del suelo como su estructura, estabilidad y erosión; esta es importante para satisfacer la demanda hídrica de las plantas (FAO, 2022).

Cuando un campo se encuentra encharcado, el espacio de aire en el suelo se desplaza por el agua. Se denomina Capacidad de Campo (CC) a la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de la lluvia o riego). El agua ocupando el espacio de los poros más grandes (macroporos) drena hacia capas inferiores bajo la fuerza de gravedad. Los poros más pequeños (microporos) se llenan de agua y los más grandes de aire a una succión de 1/3 bar. Las plantas deben producir una succión de hasta 15 bares como máximo. A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina Punto de Marchitez Permanente (PMP), a ese punto las plantas pierden la capacidad de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración, se pierde la turgencia de la planta resultando en su marchitez (Jord, 2006).

4.2.1. Energía del agua en el suelo

Es una medida de las fuerzas a las que está sometida, y tiene incidencia sobre: la disponibilidad de agua para las plantas, el movimiento del agua en el suelo; y las propiedades mecánicas del suelo (Jord, 2006).

4.2.2. *Potencial del agua del suelo*

Es la cantidad de trabajo que un cuerpo puede realizar en función de su energía almacenada; consecuentemente, la determinación del estado de la energía potencial del agua en el suelo permite estimar la cantidad de trabajo que una planta debe ejercer para extraer una unidad de agua (Kirkham, 2014)

El potencial total del agua del suelo es medido en unidades de energía, la misma que puede expresarse en unidades de masa, volumen y peso (Dane & Hopmans, 2010):

- Energía por unidad de masa: $[L^2T^{-2}]$ ($J\ kg^{-1}$; $erg\ g^{-1}$)
- Energía por unidad de volumen: $[MT^{-2}\ L^{-1}]$ ($N\ m^{-2}$; $dyn\ cm^{-2}$)
- Energía por unidad de peso: $[L]$ (cm; m)

4.2.3. *Infiltración*

La infiltración del suelo es el proceso de penetración del agua en la superficie terrestre hacia las capas subyacentes, influido por factores como la textura, estructura, porosidad, pendiente, vegetación y cobertura del suelo. Este fenómeno es esencial para recargar acuíferos, garantizar el abastecimiento de agua en pozos y manantiales, así como para gestionar eficazmente aguas pluviales al reducir la escorrentía superficial y prevenir inundaciones. En agricultura, el control y mejora de la infiltración son cruciales para proveer agua a las plantas y prevenir la erosión, mediante la medición de la tasa de infiltración y la implementación de prácticas como la adición de materia orgánica y conservación del suelo (Wu et al., 2016).

En la Tabla 2. Se muestra la clasificación de la velocidad de infiltración básica de acuerdo al departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Tabla 2.

Clasificación de la velocidad de infiltración.

Clasificación	Rango (cm/h)
Muy Rápida	> 50,80
Rápida	15,24 – 50,80
Moderadamente Rápida	50,80 – 15,24
Moderada	15,24 – 5,08
Moderadamente Lenta	5,08 – 1,52
Lenta	1,52 – 0,51
Muy Lenta	0,50 – 0,0038
Impermeable	< 0,0038

Fuente: USDA (1999).

4.3. **Curva característica de humedad del suelo**

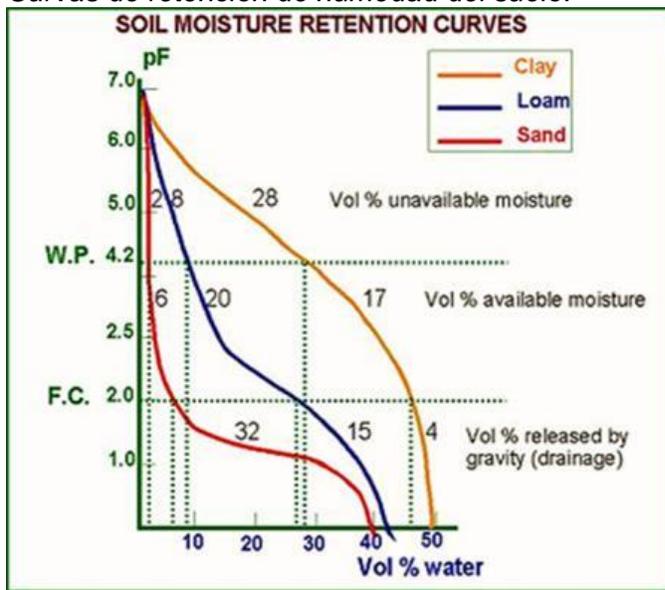
La curva de retención de agua del suelo, también conocida como curva característica de humedad del suelo o curva pF, describe la relación entre la humedad volumétrica (θ_v) y el

potencial matricial (Ψ_m) del suelo. Además, esta curva refleja la capacidad del suelo para retener agua en función de la succión, y esta relación está influenciada por factores relacionados con la porosidad del suelo (Bejar et al., 2020).

Desde una perspectiva matemática, la curva pF representa la relación entre la presión negativa en hPa y el contenido de humedad del suelo en porcentaje de volumen (Balcázar, L. 2010).

Según Cadena (2016), menciona que el contenido de agua en el suelo tiene cuatro niveles de humedad (Figura 2).

Figura 2.
Curvas de retención de humedad del suelo.



Fuente: (FAO, 2006).

4.3.1. Saturación

La saturación es el estado en el que todos los poros del suelo están llenos de agua, el contenido de humedad de este paso varía del 30 % para la arena al 60 % para la arcilla. El potencial de la matriz en la saturación depende de la textura del suelo y si es cercano a cero, indica menor restricción en el movimiento del agua y las raíces de las plantas pueden absorber agua del suelo con energía mínima (Valarezo et al., 2000).

4.3.2. Capacidad de Campo

Determina el punto específico de la curva del contenido de humedad con relación al tiempo, es la máxima cantidad de agua retenida por el suelo (agua capilar y agua higroscópica), después que se saturó y drenó libremente de 24 a 72 horas; en un suelo saturado todos los poros

están ocupados por agua, los macroporos pierden el agua y se llenan de aire, y los microporos se llenan de agua, la que es retenida contra la fuerza de la gravedad. Este es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos (Soto et al., 2014)

4.3.3. *Punto de marchitez permanente*

El contenido de humedad de los suelos, cuando las plantas se marchitan permanentemente, se denomina punto o coeficiente de marchitamiento, que corresponde al límite inferior de la humedad aprovechable por los vegetales (Macana & Melo, 2010).

Corresponde al valor máximo de agua higroscópica, agua no absorbible por las raíces. Cuando el contenido de agua es igual o menor al punto de marchitez, las plantas no tienen agua disponible y mueren (Macana & Melo, 2010).

4.3.4. *Agua Aprovechable*

El volumen de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo ($pF = 2,0$ ó $2,52$) y el punto de marchitez permanente ($pF = 4,2$) corresponde al agua aprovechable: $AA (\% \theta_v) = CC (\% \theta_v) - PMP (\% \theta_v)$, la misma que constituye la solución del suelo y es la principal fuente de agua para el desarrollo de las plantas (Valarezo, 2011).

4.3.5. *Capacidad de aireación*

Cuando se reduce el espacio poroso, se limita la capacidad del suelo para retener agua y oxígeno, indispensables para el desarrollo radicular de las plantas (INTAGRI, 2017).

La composición del aire del suelo depende en gran manera de la cantidad de espacio poroso aprovechable, junto con las tasas de reacciones bioquímicas y del intercambio gaseoso.

Cuando un suelo tiene menos del 10% de espacio poroso, la renovación del oxígeno es extremadamente lenta y la mayoría de las plantas se ven afectadas, pero si la capacidad de aireación es mayor a 10 – 15 %, la aireación es satisfactoria para el crecimiento de las plantas (Valarezo et al., 1998).

Tabla 3.

Valores promedios y rangos de las características físicas de los suelos de la Región Sur del Ecuador.

Textura	Da.	Vp.	CC.	PMP.	CA.
Fo.Ao	1,52 (0,99 - 1,87)	35,69 (21,53 - 57,25)	28,76 (16,69 - 53,58)	14,08 (5,24 - 30,24)	6,94 (2,07 - 18,97)
Fo	1,34 (0,89 - 1,59)	44,35 (35,71 - 63,50)	38,76 (21,44 - 59,8)	21,75 (8,25 - 41)	5,59 (3,70 - 14,27)
Fo.Ac.Ao	1,39 (1,05 - 1,64)	47,32 (39,50 - 67,3)	35,45 (27,40 - 50,04)	20,59 (11,41 - 32,41)	11,87 (1,13 - 26,57)
Ac.Lo.Ac	1,25	49,52	46,7	30,92	2,82

	(1,12 – 1,37)	(42,57 - 53,23)	(40,17 - 53,23)	(27,32 - 34,52)	(2,40 - 3,23)
Fo.Lo	1,25	50,72	47,23	18,67	3,48
	(1,22 - 1,28)	(50,67 - 50,76)	(46,57 - 47,90)	(4,43 - 32,91)	(2,87 - 4,10)
Ac	1,23	53,78	48,62	31,69	5,16
	(0,80 - 1,49)	(42,02 - 64,87)	(35,69 - 59,00)	(13,69 - 40,73)	(1,83 - 20,93)
Fo.Ac	1,23	49,51	45,64	24,99	3,87
	(0,63 - 1,83)	(36,70 - 73,1)	(35,77 - 67,37)	(9,87 - 36,21)	(0,93 - 8,27)

Fuente: (Valarezo et al., 1998).

4.4. **Compactación del suelo**

Es la reducción de la porosidad de los suelos, incrementando la densidad aparente de éste. Por lo tanto, el fenómeno de compactación limita el espacio para el almacenamiento o movimiento del aire y agua dentro del suelo. Además, es una de las principales causas de restricción física para el crecimiento radical de los cultivos (INTAGRI, 2017).

Determina su capacidad de sostenimiento, facilidad para la penetración de raíces, circulación del aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje, retención de nutrientes, entre otros factores (INTRAGRI, 2018).

4.5. **Evaluación de las condiciones físicas del suelo**

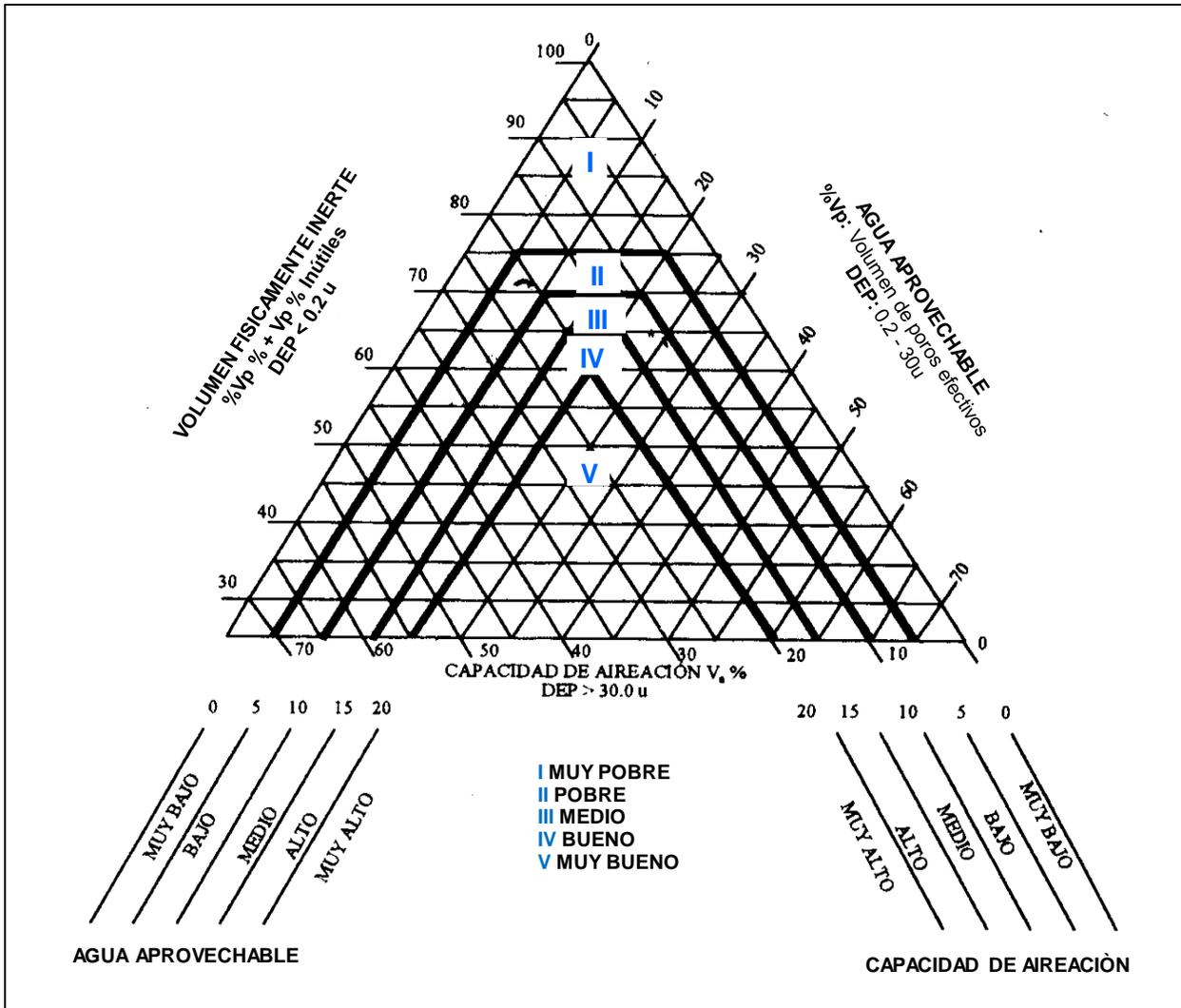
Según Valarezo et al. (1998), la distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo ($pF = 2,0$ ó $2,52$), sirve para evaluar el estado físico del suelo para el crecimiento de las plantas. Para ello se requiere disponer de los volúmenes porcentuales de:

- Capacidad de aireación (poros de diámetro equivalente mayor a 30 micras);
- Agua aprovechable (poros de diámetro de 0,2 a 30 micras); y,
- Volumen físicamente inerte del suelo (volumen de poros inservibles < 0,2 micras).

Estos valores se los ubica en un diagrama triangular, en el que se han delimitado cinco zonas de las condiciones físicas del suelo: I (muy pobre); II (pobre); III (medio); IV (bueno); V (muy bueno) como se observa en la Figura 3.

Figura 3.

Diagrama triangular para evaluar la condición física de los suelos para el crecimiento de las plantas.



Fuente: (Valarezo et al., 1998).

4.6. Enmiendas Orgánicas

Son el producto de las transformaciones de residuos vegetales, animales e industriales que adicionados al suelo pueden ayudar a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas; de manera general, las enmiendas mejoran los procesos de infiltración y capacidad de retención del agua, promueven la actividad microbiana y controlan el pH, por lo que se consideran una importante fuente de nutrientes para el suelo y las plantas (Murillo et al., 2020)

Para Rodríguez (2013), los suelos enmendados ayudarán de forma útil a conocer el efecto que dichos materiales orgánicos provocarán en el suelo sobre los procesos metabólicos y su actividad microbiana en particular sobre la cantidad de microorganismos del suelo (bacterias, hongos, actinomicetos, algas), pero sin embargo, problemas derivados de su propio cultivo, su dificultad como técnica analítica en sí misma, su enorme variabilidad espacial y temporal

aconseja precaución a la hora de su empleo; otro tipo de técnicas para tener en cuenta y muy interesantes ligadas al conocimiento de grupos de microorganismos funcionales específicos son las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrízicos.

4.3.6. *Nutrisano*

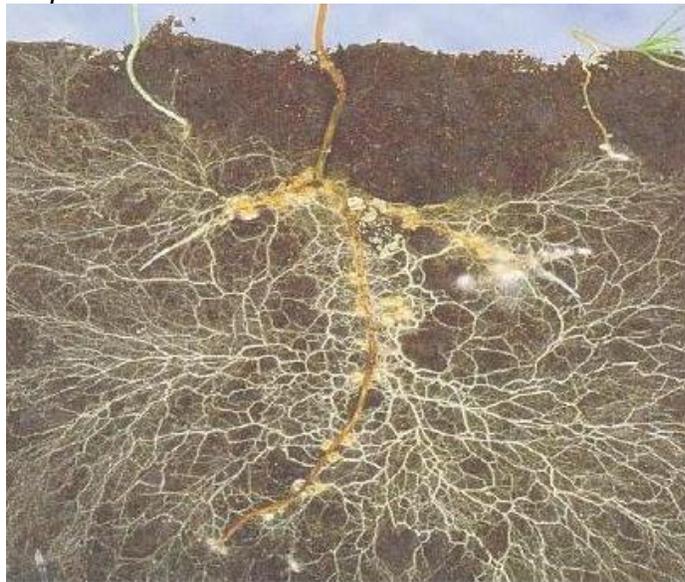
Es un producto de calidad con alto contenido de materia orgánica de origen animal y vegetal, materia prima seleccionada y compostada, ha tenido gran aceptación por parte de los agricultores no solo de esta provincia sino también de otras partes del país. Asimismo, por ser un abono esponjoso hay mejor enraizado, evita la compactación del suelo, lo que permite un mejor crecimiento de los cultivos, retiene la humedad en épocas de sequía, aumenta la fertilidad del suelo y reduce las pérdidas de cosechas (Prefectura de Loja, 2015).

4.4. Hongos micorrízicos

La palabra "Micorriza" se originó combinando el vocablo griego "Mycos," que significa hongo, con el término latino "Rhiza," que se refiere a raíz. Esta nomenclatura define la simbiosis que se establece entre el hongo y las raíces de una planta, en la cual ambos participantes obtienen beneficios mutuos (Harrison, 2005).

Figura 4.

Esquema de micorrizas en simbiosis con la raíz de una Planta.



Fuente: Echeverria (2012).

Las micorrizas establecen una relación simbiótica, según Salas & Blanco. (1997), dicha relación permite a la planta proporcionar carbohidratos al hongo, mientras que este, a su vez,

contribuye a la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta. En esta asociación, la planta recibe nutrientes, minerales y agua del hongo, mientras que el hongo obtiene de la planta vitaminas como la piridoxina o B6, así como las vitaminas "K" y "E", además de los carbohidratos necesarios para su desarrollo.

Dentro de la biología del suelo, está presente un grupo de microorganismos denominado hongos micorrízicos arbusculares (HMA), los que establecen varias interacciones simbióticas con las plantas en ecosistemas agrícolas, agroforestales y naturales (Pérez et al., 2016). Micorriza significa “hongo-raíz”, el término fue propuesto por Frank al estudiar las raíces de especies forestales en 1877 (Camargo et al., 2012).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) están dentro del Phylum Glomeromycota; son considerados los eucariotas más antiguos dentro de su categoría. Actualmente, los HMA se distribuyen en 11 - 14 familias y contienen 18 - 29 géneros como se muestra en la Tabla 4. (Stürmer et al., 2013).

Tabla 4.
Clasificación Taxonómica de los hongos.

Phylum: Glomeromycota				
Clase: Glomerocyete				
Ordenes (4)	Familias (11)	Géneros (18)		
Glomerales	Glomeraceae	Glomus		
		Funnerliformis		
Diversisporales		Rhizophagus		
		Sclerocystis		
	Claroideoglomeraceae	Claroideoglomus		
	Diversisporaceae	redeckera,	Diversispora,	Otopora
		Acaulospora		
	Acaulosporaceae	Entrophospora		
	Entrophosporaceae	Gigaspora,	Scutellospora,	Racocetra
Archaesporales	Gigasporaceae	Pacispora		
		Pacisporaceae		
	Geosiphonaceae	Geosiphon		
	Ambisporaceae	Ambispora		
Paraglomerales	Archaeosporaceae	Archaeospora		
	Paraglomeraceae	Paraglomus		

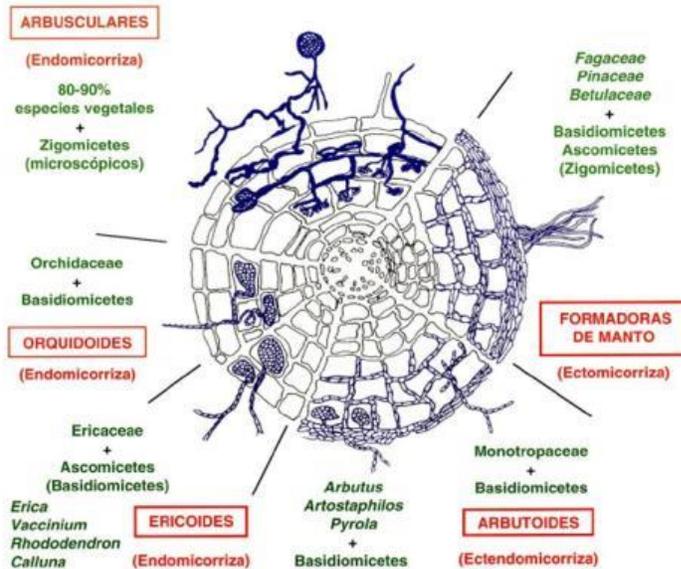
Fuente: *Kalyanne (2012).*

4.5. Sepas de micorrizas

Existen tres tipos de asociaciones micorrízicas de relevancia continua en la actualidad. Estos se clasifican en Endomicorrizas, Ectomicorrizas y Ectoendomicorrizas, considerando sus características morfoanatómicas y ultraestructurales (Peyronel, 1969).

Las micorrizas se dividen en tres grupos de asociaciones que comparten notables similitudes tanto en aspectos morfológicos como anatómicos, lo que les permite establecer una simbiosis con las plantas. Es importante destacar que estos tres tipos de micorrizas, según la tabla de clasificación, se distribuyen en 2 órdenes, 2 subórdenes, 4 familias y 8 géneros (Rodríguez, 2001).

Figura 5.
Tipos de micorrizas.



Fuente: (Martí, 2016).

4.5.1. Beneficios al suelo

Existen numerosos beneficios que las micorrizas aportan al suelo. Estos incluyen la mejora de su estructura y el apoyo al desarrollo y crecimiento del sistema radicular de la planta. Las hifas del hongo desempeñan un papel crucial al mejorar la aireación del suelo, lo que se traduce en un suministro adecuado de oxígeno para fomentar el desarrollo tanto de los microorganismos como de las raíces de las plantas (Martí, 2016).

En plantaciones de café durante la temporada seca, se ha observado que las plantas pueden tolerar el estrés hídrico. La presencia de micorrizas en el suelo moviliza nutrientes que previamente no estaban disponibles para la planta, incrementando así la fertilidad de los suelos. Además, estas micorrizas mejoran la capacidad productiva, la fertilidad y la estructura del suelo, al tiempo que facilitan la retención de la humedad (Salas & Blanco, 1997).

La investigación científica y tecnológica en las últimas décadas ha permitido un mayor conocimiento de los organismos del suelo, como bacterias y hongos, que favorecen el

crecimiento de las plantas. Entre estos organismos se encuentran las micorrizas, hongos beneficiosos que se asocian naturalmente con las plantas. Al inocular micorrizas, se logran múltiples beneficios tanto para las plantas como para el suelo, incluyendo la mejora de la fertilidad y la reducción de la erosión, ya que el hongo contribuye a la retención de partículas del suelo y a la disminución de la erosión causada por el agua (Alarcón & Ferrera, 1999).

Los efectos beneficiosos de las micorrizas en el suelo están estrechamente relacionados con sus efectos en las plantas, ya que la relación suelo-planta es fundamental. Se ha observado que las micorrizas desempeñan diversas funciones en el suelo, lo que aumenta su potencial agronómico y su capacidad para mantener diferentes especies vegetales, al tiempo que movilizan nutrientes (Bernaza, 1986). En resumen, estos efectos incluyen:

- La prolongación del sistema radicular de las plantas, lo que facilita una mayor retención de partículas del suelo, reduciendo los efectos perjudiciales de la erosión hídrica.
- La capacidad de regenerar suelos degradados y mejorar su estructura, lo que aumenta las posibilidades de retención de humedad, aireación, fertilidad y descomposición de la materia orgánica.
- Un aumento en la absorción de agua debido a la prolongación del sistema radicular, lo que contribuye a la tolerancia al estrés hídrico.

4.5.2. Beneficios a la planta

Las micorrizas, en su interacción con las plantas, obtienen los nutrientes necesarios para su desarrollo, principalmente carbohidratos, a cambio de lo cual ofrecen a las plantas diversos beneficios, como se detalla en el estudio de Franco (2004). Estos beneficios abarcan:

- a) El incremento en la cantidad de hojas y el crecimiento de las raíces.
- b) Una mayor absorción de fósforo y otros nutrientes.
- c) La capacidad de tolerar enfermedades del suelo y ataques de parásitos.
- d) Una mayor resistencia a la falta de agua.
- e) La producción de hormonas estimulantes del crecimiento.

Este mayor grado de tolerancia de las plantas ante diversos factores de estrés, como la sequía, desequilibrios en el pH, altos niveles de salinidad, y la exposición al viento, entre otros, se debe al papel fundamental de las micorrizas. Estas estructuras facilitan la adecuada evapotranspiración de la planta y mejoran su funcionamiento fisiológico en general, como se señala en la investigación de Franco (2004).

El proceso de intercambio entre las plantas y las micorrizas es esencial para su nutrición, y es ampliamente difundido entre las plantas, ya que les permite sobrevivir en condiciones

específicas y competir con la microflora del suelo por los nutrientes. Al inocular las plantas con hongos micorrizógenos, se observa un significativo aumento en la absorción y traslocación de nutrientes, incluyendo nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, zinc, cobre, molibdeno, hierro, manganeso, entre otros, como se menciona en el estudio de Carvajal & Mera, (2010).

Un aspecto particularmente relevante en la función de las micorrizas está relacionado con la absorción de fósforo en suelos, especialmente en zonas tropicales donde la disponibilidad de fósforo asimilable para las plantas suele ser limitada, según lo expuesto en la investigación de Paéz (2006).

4.6. Hongos micorrízicos arbusculares en la aireación del suelo

Son organismos del suelo que viven simbióticamente con la mayoría de las plantas, ellos les aportan beneficios, dándoles ventajas con respecto a las plantas no micorrizadas, como por ejemplo facilitando a la planta la toma de nutrientes de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo, evitando la acción de microorganismos patógenos en la raíz, aumentando la tolerancia de la planta a condiciones de estrés abiótico en el suelo; el establecimiento de la simbiosis entre el hongo y la planta lleva a una secuencia de etapas de reconocimiento causando cambios tanto morfológicos como fisiológicos en los dos organismos que interactúan, además que forman simbiosis con el 80% de las plantas terrestres, formando arbusculos, vesículas (en algunas especies) e hifas dentro de las células corticales de las plantas que colonizan. Se encuentran en todos los ecosistemas y suelos (Barrer, 2009).

Los suelos con baja fertilidad y limitada capa arable se caracterizan por una actividad micorrízica escasa y baja población de esporas de HMA, en estos suelos suele observarse una baja actividad simbiótica. La excesiva compactación del suelo también puede ser la causa de condiciones desfavorables para el crecimiento de las plantas y la simbiosis con los HMA y su esporulación (Jamiołkowska et al., 2018). Distribución de las raíces totales en el suelo.

4.7. Cultivo de café

El café pertenece a la gran familia de las Rubiaceas, compuesta por 500 géneros y más de 6.000 especies, la mayoría de origen tropical y con amplia distribución geográfica (Herrera & Cortina , 2013).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Subfamilia: Ixoroideae

Especie(s): arabica, canéfora, ibérica.

Género: *Coffea*

Nombre Científico: *Coffea arabica*.

4.7.1. Variedad de café Geisha Panamá

Esta variedad se recolectó originalmente de los bosques de café en Etiopía en 1930. Desde allí se envió a Tanzania y luego se llevó al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza en América Central en 1953. A mediados de los años 60, las semillas de Geisha llegaron a las fincas de Panamá, pero no se plantó mucho porque crecía lentamente y no tenía un sabor tan agradable al ser cultivado a baja altitud. En las tierras altas de Chiriquí, en la finca Esmeralda dio el primer cultivo con éxito (Asociación Nacional del café Anacafé, 2019).

4.7.2. Temperatura

La tasa fotosintética, el desarrollo foliar y la formación de botones florales están influenciados en forma directa por la temperatura. El rango óptimo para el cultivo de café oscila entre 18°C a 22°C. Cuando se registran temperaturas por debajo de 18°C se promueve el crecimiento vegetativo y se reduce la tasa de diferenciación floral del café. Si la temperatura es mayor a 22°C se acelera el crecimiento vegetativo afectando la floración y fructificación (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura IICA, 2019).

4.7.3. Morfología del cafeto

Según (Alvarado S. 1994), las clases de raíces que tiene el cafeto son: pivotante, axiales, de sostén, laterales y raicillas. El desarrollo del sistema radicular de una planta de cafeto depende de su genética y las condiciones del medio en el cual vive (textura, nutrientes, pendiente) ocasionan modificaciones en su desarrollo y por lo tanto es indudable que dos plantas genealógicamente iguales puedan presentar diferencias notables en su sistema radicular si crecen en suelos diferentes (Suárez de Castro, 1953).

Raíces: Según Alvarado (1994), las clases de raíces que tiene el cafeto son: pivotante, axiales, de sostén, laterales y raicillas. El desarrollo del sistema radicular de una planta de cafeto depende de su genética y las condiciones del medio en el cual vive (textura, nutrientes,

pendiente) ocasionan modificaciones en su desarrollo y por lo tanto es indudable que dos plantas genealógicamente iguales puedan presentar diferencias notables en su sistema radicular si crecen en suelos diferentes (Suárez de Castro, 1953).

Tabla 5.

Distribución de raíces totales del cafeto a diversas profundidades (en % del total).

	Prof.	Pte.	Profundidad en centímetros							
			0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 50	50 - 70	70 - 100	100 - 130	130 - 160
A	0,40	20%	39,35	28,3	21,37	10,4	0,47	0,18	0,02	0,01
B	0,40	40%	53,62	22,69	15,97	6,25	1,34	0,07	0,04	0,01
C	0,8	60%	49,57	20,28	18,7	9,53	1,75	0,01	0,01	0,01

Fuente: (Suárez de Castro, 1953).

Ramas: Dependiendo del tipo de planta, puede llegar a tener entre 3 y 20 ramas en el tallo principal de la planta de café. De color verde oscuro, las hojas crecen de estos en pares. La hoja es de fundamental importancia para la planta, ya que allí se realiza la fotosíntesis (Pérez, 2005).

Hojas: el número de hojas por árbol y el área foliar de las plantas varían según la edad y la densidad de población Figura 4. En cafetos de la variedad Caturra de 5 años, el número de hojas observado fue de 3.920, 6.400 y 7.600 para las densidades de 10.000, 5.000 y 2.500 plantas por hectárea, respectivamente (Valencia, 1973). En otro estudio se encontró que, para las mismas densidades de siembra, los máximos valores del número de hojas alcanzado por planta fueron de 12.521, 11.623 y 4.365 y el tiempo en el cual se alcanzó este máximo fue a los 56, 53 y 43 meses, respectivamente. Se observó, además, una tendencia a disminuir el tamaño promedio de las hojas con la edad (Arcila y Chávez, 1995).

Floración: la floración es un proceso de desarrollo complejo que inicia de 4 a 5 meses antes de la apertura floral (Camayo y Arcila, et al., 1996, Camayo et al., 2003). En cada axila se forman de 3 a 4 yemas o inflorescencias y en cada una de ellas, entre 4 y 5 flores. Es decir, en un nudo existen potencialmente entre 24 y 32 botones florales (12 a 16 botones florales por axila). La yema que produce un glomérulo se demora aproximadamente 12 semanas para dar origen a los botones florales. El desarrollo de la inflorescencia continúa y puede durar de 30 a 35 días aproximadamente (Rodríguez, 2015).

4.8. Sistemas Agroforestales asociados con el Café

Un sistema agroforestal cafetero consiste en integrar especies arbóreas con el cultivo de café o en arborizar las fincas donde se produce el grano. Esta forma de manejo busca conservar y mejorar el suelo y el agua, así como incrementar y mantener la productividad del café. De esta manera, se contribuye a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo social y económico de las familias que se dedican a esta actividad (Farfán, 2014).

Los sistemas agroforestales de café brindan varios beneficios como: las condiciones micro- climáticas, aspectos edáficos en relación al mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad debido al aumento en la capacidad de reciclaje de nutrientes y adición de residuos y la estabilidad de la temperatura del suelo converge con menores pérdidas por volatilización del nitrógeno.

Finalmente, en aspectos endógenos como la atenuación del ciclo bienal de la producción disminuyendo el agotamiento de la planta y el secamiento de las yemas apicales y, en última instancia, hace que el cultivo perdure y haya un alargamiento del período de maduración del fruto que permite adoptar mayor flexibilidad en las operaciones de cosecha (Damatta & Rodríguez, 2007).

Los HMA se encuentran ampliamente extendidos por toda la superficie terrestre y establecen simbiosis del 80 al 90% con las plantas, incluyendo las pteridofitas y las briofitas. Por tal motivo, se ha sugerido que los HMA tienen influencia en el desarrollo de las comunidades vegetales, mediante la captación de nutrientes, relaciones hídricas, y el incremento de la biomasa aérea; con el propósito de mejorar sus beneficios de la relación simbiótica planta-micorriza, es necesario asegurar algunas prácticas de manejo agronómico como: la disminución del arado y aplicación de productos químicos, rotación con cultivos adecuados; y la disminución del tiempo de los barbechos (Nazareno et al., 2018).

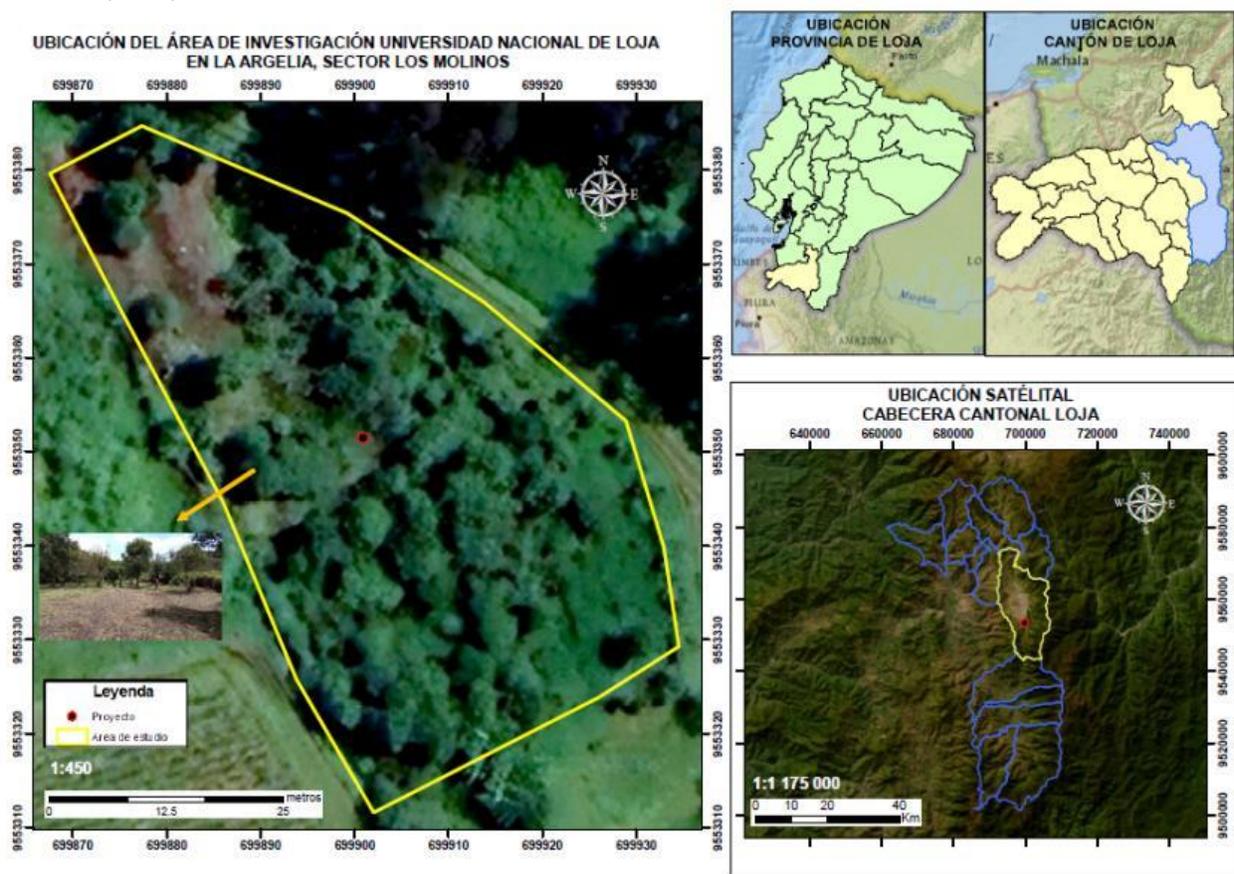
5. Metodología

5.1. Ubicación política, geográfica y características del área de estudio.

El ensayo se realizó en la quinta experimental la Argelia, sector Los Molinos, de la Universidad Nacional de Loja, a 5 Km al sur de la ciudad de Loja, parroquia Punzara, cantón y provincia de Loja, en las coordenadas: Norte 9 553 351 m, y Este 699 900 m, Datum WGS84, zona 17 Sur y una altitud de 2 130 m s.n.m.

Figura 6.

Mapa de ubicación del campo experimental, provincia de Loja, barrio La Argelia, sector Los Molinos (UNL).



Elaborado por: El autor (2022).

Fuente: Datos del Geoportal del Agro, IGM, 2022

5.1. Aspectos biofísicos

(Holdrige 1967, como se citó en Macas 2021), manifiesta que la estación experimental “La Argelia” pertenece a la zona de vida bosque seco montano bajo.

La información climática se obtuvo de la estación meteorológica “La Argelia” en un período de 29 años (1 990 – 2 019), con una precipitación anual de 1 084 mm/año, siendo el mes de menor precipitación septiembre con 39 mm/mes), temperatura media anual de 17 °C, humedad relativa media 76%, evapotranspiración de 2,4 mm/mes y una velocidad del viento media 2,1 km/h.

5.2. Materiales y equipos

Materiales de campo: Carta geológica, etiquetas, guía de descripción de perfil de la FAO, estación diferencial, cámara fotográfica, portátil, GPS, machete, estacas, barreta, lampa, funda plástica, cinta métrica, piola, rastrillo, carretilla, combo de goma, barreno, nivel, balde de 10 litros, jarra de 1 litro y plántulas de caféto (*Coffea-Arabica* L) de variedad Geisha Panamá.

Materiales de laboratorio y equipos: Tierra fina secada al aire (TFSA), cilindros Koppecky (100 cm³), probetas, pipetas, estufa, tabla Munsell, martillo edafológico, espátula, clinómetro, muestreador de cilindros, anillos infiltrómetros, estación total, cámara fotográfica, computadora, pH metro, agitador mecánico, hidrómetro, termómetro, balanza de precisión.

Reactivos: Agua destilada, hidróxido de sodio, oxalato de sodio, ácido clorhídrico.

Abonos y fertilizantes: Cal dolomítica, Sulpomag, Kieserita, DAP, Sulfato de Zinc, Bórax, Nutri-leaf y GROW COMBY 1, abono orgánico (Nutrisano) y hongos micorrízicos arbusculares (encapsulados).

5.3. Diseño experimental

El diseño es un esquema bifactorial de bloques al azar con tres replicas, 16 tratamientos por bloque y 8 unidades básicas por tratamiento. Donde se probó dos factores: enmiendas orgánicas y hongos micorrízicos que se observa en la Tabla 6.

Tabla 6.

Factores de estudio de la unidad experimental.

Abonos orgánicos (AO)	AO1	0 %
	AO2	(6%)
	AO3	(8%)
	AO4	(10%)
Hongos Micorrízicos (HM)	HM1	0 encapsulados
	HM2	10 encapsulados
	HM3	20 encapsulados
	HM4	30 encapsulados

Elaborado por: *El autor*

Modelo estadístico.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha \beta)_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} : Observación en la unidad experimental sujeta al i-ésimo nivel del factor enmienda orgánica, j-ésimo nivel del factor hongo micorrízico y k-ésima réplica.

μ : Efecto de la media general.

α_i : Efecto del i-ésimo nivel de enmienda orgánica (i = 1, 2, 3, 4).

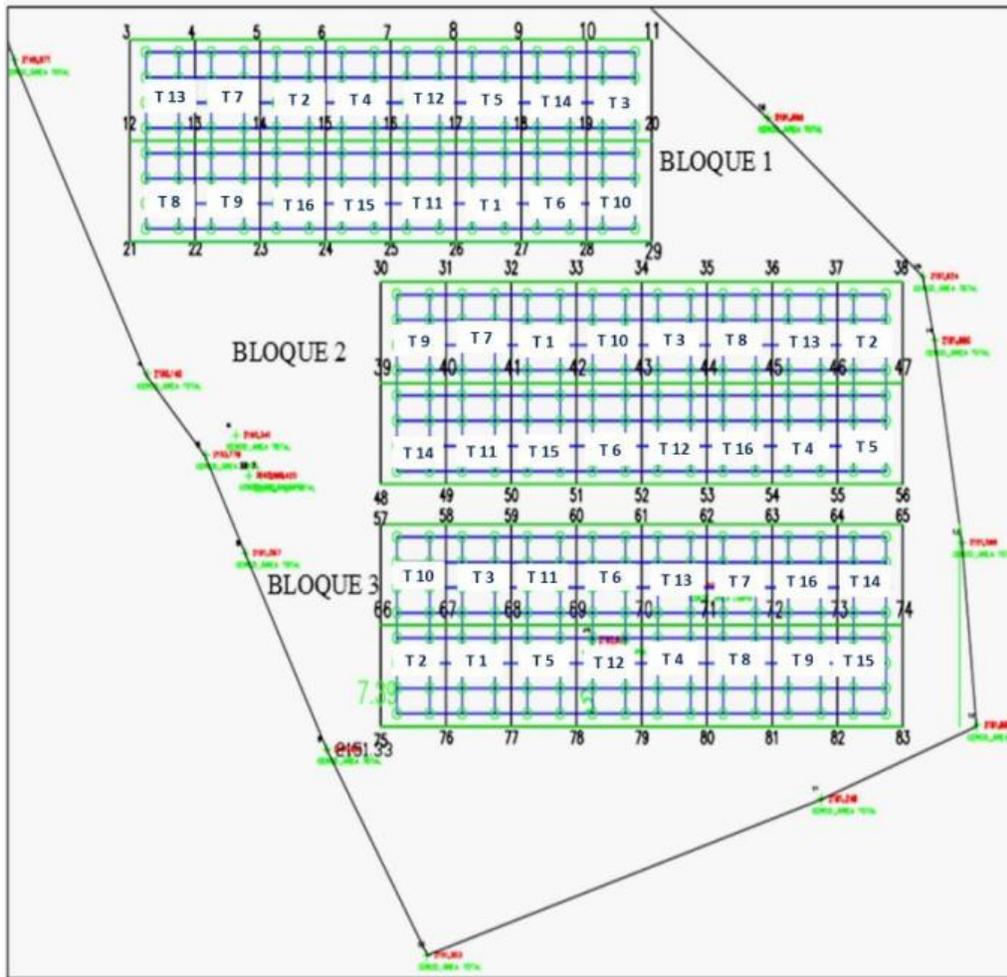
β_j : Efecto del j-ésimo nivel de hongo micorrízicos (j = 1, 2, 3, 4).

$(\alpha \beta)_{ij}$: Efecto de la combinación del factor enmienda orgánica y hongo micorrízico.

γ_k : Efecto del i-ésimo bloque (k = 1, 2, 3).

ε_{ij} : Efecto del error experimental (variable independiente normalmente distribuida con media igual a cero y varianzas homogéneas).

Figura 7.
Diseño experimental.



El experimento cuenta con un área neta de 960 m² con un total de 384 plantas de café distribuidas en cada uno de los tratamientos con 8 plantas de tres repeticiones cada una como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7.
Tratamientos.

N° Tratamiento	FACTORES		Descripción de los tratamientos
	Abono orgánico (AO)	Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	
T1	AO1 (0%)	HMA1 (0 encapsulados)	T1 (AO_0+HMA_0)
T2	AO1 (0 %)	HMA2 (10 encapsulados)	T2 (AO_0+HMA_10)
T3	AO1 (0%)	HMA3 (20 encapsulados)	T3 (AO_0+HMA_20)
T4	AO1 (0%)	HMA4 (30 encapsulados)	T4 (AO_0 +HMA_30)
T5	AO2 (6 %)	HMA1 (0 encapsulados)	T5 (AO_6+HMA_0)
T6	AO2 (6%)	HMA2 (10 encapsulados)	T6 (AO_6+HMA_10)
T7	AO2 (6%)	HMA3 (20 encapsulados)	T7 (AO_6+HMA_20)
T8	AO2 (6%)	HMA4 (30 encapsulados)	T8 (AO_6+HMA_30)
T9	AO3 (8%)	HMA1 (0 encapsulados)	T9 (AO_8+HMA_0)
T10	AO3 (8%)	HMA2 (10 encapsulados)	T10 (AO_8+HMA_10)
T11	AO3 (8%)	HMA3 (20 encapsulados)	T11 (AO_8+HMA_20)
T12	AO3 (8%)	HMA4 (30 encapsulados)	T12 (AO_8+HMA_30)
T13	AO4 (10%)	HMA1 (0 encapsulados)	T13 (AO_10+HMA_0)
T14	AO4 (10%)	HMA2 (10 encapsulados)	T14 (AO_10+HMA_10)
T15	AO4 (10%)	HMA3 (20 encapsulados)	T15 (AO_10+HMA_20)
T16	AO4 (10%)	HMA4 (30 encapsulados)	T 16 (AO_10+HMA_30)

Elaborado: *Autora*

5.4. Metodología para el primer objetivo: caracterizar físicamente los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia.

Para caracterizar físicamente los suelos se realizó tres calicatas de 1,20 m de largo x 1,20 m de ancho y 1,20 m de profundidad, se describió el perfil del suelo, siguiendo las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de la (FAO, 2009). La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el (USDA Soil Taxonomy, 2014).

Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente en los perfiles del suelo y en los 16 tratamientos se tomaron muestras inalteradas por triplicado de volumen conocido (cilindros Koppecky de 100 cm³). En el perfil uno y dos se tomó muestras de los dos primeros horizontes y en el perfil tres muestras del primer horizonte, las cuales se llevaron al Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, las mismas que

fueron secadas en la estufa a 105 °C durante 24 horas. La fórmula para determinar la densidad aparente (INTA, 2012):

$$Da = \frac{PS}{Vc}$$

Dónde:

Da: Densidad aparente g cm⁻³

PS: peso suelo seco (g)

Vc: Volumen del cilindro (cm³).

Saturación

Se saturó el suelo durante 24 h con agua destilada, se pesó antes y después de ser colocadas en la estufa a 105°C, la diferencia representa el porcentaje de saturación en el suelo.

$$\% \text{ Saturación} = \frac{Pnms \text{ (g)} - Pns \text{ (g)}}{Pns \text{ (g)}} \times 100$$

Donde:

Pnms = Peso neto de la muestra saturada

Pns = Peso neto seco

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Se envió muestra disturbadas de suelo al laboratorio de AGROCALIDAD (Anexo 2). Dónde se utilizó el método de la centrifuga, el cual consiste en recubrir la malla de las cajas con papel filtro y añadir 25 g de muestra de suelo, luego se satura con agua las cajas por 24 horas procurando que el agua llegue hasta la mitad de la caja, posteriormente se drenan las cajas de la centrifuga por 15 minutos sobre un paño, se colocan las cajas de la centrifuga a una velocidad de 2500 rpm (1000 veces la gravedad) durante media hora, seguidamente se pesa una capsula de aluminio y se trasvasa la muestra de la caja de la centrifuga a la cápsula de aluminio, se seca la muestra en la estufa a 105 °C por 24 horas y finalmente pesar las muestras (López, 2016).

En el Laboratorio de Suelos y Aguas del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables a fin se determinó: la retención de humedad a pF = 0; pF= 2,00; pF = 2,52; y pF = 4,20 (Anexo 3). Para la capacidad de campo se utilizó lo establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) corresponde al contenido de agua que el suelo retiene a una succión de 1/3 (pF 2,52) y lo señalado por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 de atm (pF 2,00).

Textura

Se utilizó el método de Bouyoucos, para lo cual se pesó 50 gr de la muestra de suelo, se añadió 100 ml de agua destilada, se agregó 5 ml de NaOH (Hidróxido de Sodio) 1N y 5 ml $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (Oxalato de Sodio), se dejó reposar por 30 min, posteriormente se pasó la muestra por un vaso de dispersión en un agitador durante 5 min, se retiró y se colocó en una probeta hasta completar los 1000 ml con agua destilada, después se introdujo el agitador manual dentro de la probeta con movimientos de arriba hacia abajo hasta que los sólidos se mezclen uniformemente, con el hidrómetro dentro de la probeta al final de los 40 s se obtuvo la primera lectura, se tomó la temperatura y se registró, después de transcurrida las 2h00 de sedimentación se realizó la segunda lectura con el hidrómetro, conjuntamente con la temperatura.

Las lecturas iniciales deben ser corregidas con base a la temperatura de la suspensión, si la temperatura de calibración es 20°C se suma $0,36^\circ\text{C}$ si es mayor y se resta cuando está por debajo de la temperatura de calibración.

El porcentaje de las fracciones se las obtiene de las siguientes formulas:

$$\% \text{Ao} = 100 - (1^{\text{ra}} \text{Lc} \times 2)$$

$$\% \text{Ac} = 2^{\text{da}} \text{Lc} \times 2$$

$$\% \text{Lo} = 100 - (\text{Ao} + \text{Ac})$$

Donde:

Ao = Arena

Ac = Arcilla

Lo = Limo

Lc = Lectura

Velocidad de infiltración

El ensayo de infiltración se realizó cerca de cada calicata con tres repeticiones, mediante el método del doble anillo, durante el tiempo de 3 horas hasta alcanzar la infiltración básica.

En lo que respecta a la Infiltración acumulada mediante la ecuación de Kostiakov, se graficó la curva de infiltración acumulada, a partir del tiempo acumulado (eje "X") y la lámina acumulada (eje "Y"), la ecuación utilizada es la siguiente:

$$I_{ac} = A \times t^B$$

Donde:

I_{ac} = Infiltración acumulada (cm)

A y B = Parámetros de la ecuación (adimensional)

t = Tiempo (min) Infiltración instantánea.

Posteriormente con la ecuación de la infiltración acumulada se determinó la infiltración instantánea con la siguiente ecuación:

$$I_{inst} = a \times t^b$$

Donde:

I_{inst} = Infiltración instantánea (cm)

t = Tiempo (min)

a y b = Constantes negativas (adimensional), que se determinan despejando las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{a}{b + 1} \rightarrow a = A \times (b + 1)$$

$$B = b + 1 \rightarrow b = B - 1$$

Para la velocidad de infiltración básica se obtuvo derivando la ecuación anterior de infiltración instantánea y se multiplico por un factor de conversión para expresarlo en horas, donde se utilizó la siguiente ecuación

$$I_b = a \times (-600 \times b)^b$$

Los datos obtenidos en el campo se procesaron en una hoja electrónica, se obtuvieron a partir de graficar la curva de infiltración acumulada en escalas doble logarítmica y en Excel. Se calcularon las velocidades de infiltración media e instantánea en $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ para cada uno de los tiempos; así como, la velocidad de infiltración básica en $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$, por regresión lineal (Anexo 4).

5.5. Metodología para el segundo objetivo: determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del cafeto en su etapa inicial.

Preparación del sitio experimental

El área neta del experimento es de 960 m^2 , se realizó el trazado de cada uno de los bloques con una superficie de 320 m^2 , la distancia entre plantas $1,25 \text{ m}$, el distanciamiento entre hileras 2 m , y la distancia entre bloques 1 m , con un total de 384 plántulas de cafeto.

Además, para el trasplante se consideró las dimensiones citadas por (Suárez de Castro, 1953), la cual los hoyos deben de tener un diámetro de 50 cm y una profundidad de 25 cm , adicional a esto se perforó en el centro del hoyo con un barreno de 8 cm hasta alcanzar una profundidad de 40 cm .

Toma de muestras disturbadas para pH.

El muestreo se realizó siguiendo la guía de la FAO (2009), se tomaron las muestras de suelo disturbadas, en el perfil uno y dos se tomó de los dos primeros horizontes y en el perfil tres del primer horizonte. Además, con el barreno a una profundidad de 40 cm, se tomó muestras en cada tratamiento de la parte central, cada muestra se registró con un código se llevaron de al “Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología” de la FARNR – UNL.

Determinación del pH del suelo

Se utiliza 20 g de muestra de suelo, se coloca en el vaso de plástico de 250 ml y se agrega 50 ml de agua destilada. Se tapa el vaso de plástico y se procede a introducir en el agitador mecánico, se agita durante 5 minutos a 400 rpm. Transcurrido el tiempo se deja reposar durante 30 minutos.

Para calibrar el potenciómetro se utiliza las soluciones buffer pH 4, pH 7, y pH 10

Pasado los 30 minutos con en el potenciómetro previamente estandarizado, se midió el pH.

Corrección del pH del suelo.

Para la corrección del pH del suelo se aplicó enmiendas orgánicas, en función del análisis químico y según la relación de cationes (calcio, magnesio y potasio).

La corrección con Cal dolomita se realizó quince días antes del trasplante para lo cual se utilizó aproximadamente 45 Kg de Cal dolomita, aplicando 1,18 g en cada unidad experimental.

De igual manera se utilizó 23 Kg de Sulpomag y se aplicó 60 g en cada unidad experimental, como fertilización base.

Trasplante, fertilización edáfica y foliar

Se realizó la aplicación del abono orgánico (nutrisano) y encapsulados de hongos micorrízicos, de acuerdo a la Tabla 8. Previo a una mezcla uniforme suelo/abono y se procedió a la siembra de las plántulas de cafeto. El trasplante se realizó en el mes de junio, las plántulas de cafeto tenían seis meses de haber germinado.

Tabla 8.

Dosis aplicadas por tratamiento de Abono orgánico (AO) (kg de Nutrisano) y Hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
	kg/planta	kg/planta	kg/planta
AO_0 y HMA_0			
AO_0 y HMA_10			

AO_0 y HMA_20			
AO_0 y HMA_30			
AO_6 y HMA_0	2,14	1,88	1,64
AO_6 y HMA_10	2,14	1,88	1,64
AO_6 y HMA_20	2,14	1,88	1,64
AO_6 y HMA_30	2,14	1,88	1,64
AO_8 y HMA_0	3,87	3,52	3,10
AO_8 y HMA_10	3,87	3,52	3,10
AO_8 y HMA_20	3,87	3,52	3,10
AO_8 y HMA_30	3,87	3,52	3,10
AO_10 y HMA_0	5,59	5,15	4,56
AO_10 y HMA_10	5,59	5,15	4,56
AO_10 y HMA_20	5,59	5,15	4,56
AO_10 y HMA_30	5,59	5,15	4,56
	Sacos	Sacos	Sacos
	de 40Kg	de 40Kg	de 40Kg

Fuente: Autora.

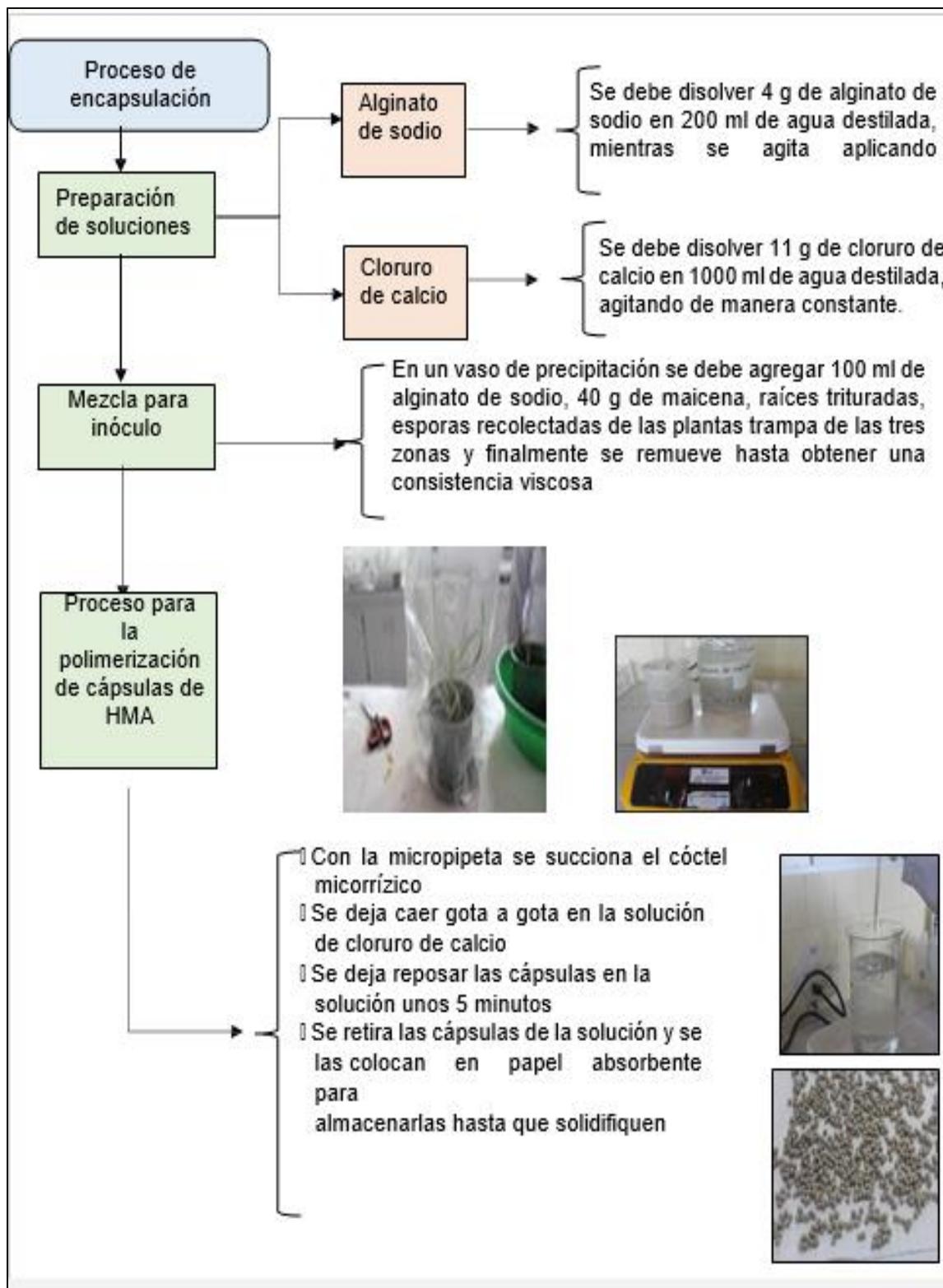
La fertilización edáfica se realizó una vez al mes, aplicando Sulpomag 118 g/planta el cual está compuesto: S (18 %) y MgO (25 %); Además, se aplicó Kieserita 64 g/planta, el cual está compuesto por S (20 %) y MgO (27 %); y, DAP 12 g/planta, compuesto por: N (18 %), P₂O₅ (46 %), K₂O (0%), realizando seis hoyos a una distancia de aproximadamente 15 cm y a una profundidad aproximada de 15 a 20 cm de cada planta de cafeto; de igual manera se aplicó 1,25 Kg de sulfato de Zinc el cual está compuesto por Zn (22 %) y S (12 %) y Bórax 4,36 Kg, se realizó una mezcla entre los dos fertilizantes se utilizó 14 g/planta y finalmente se aplicó Nitrato de amonio (NH₄NO₃) 18 g/planta.

La fertilización foliar se realizó una vez cada semana con Nutri-leaf con la siguiente composición: N (20%), P disponible (20%), K (20%), B (0.02%), C quelatado con EDTA (0.05%), Fe quelatado con EDTA (0.10%), Mg quelatado con EDTA (0.05%), Mo (0.0005%), Zn quelatado con EDTA (0.05%), agente quelatante e ingredientes inertes (39.7295%) con una dosificación de 25 g en 10 litros de agua y GROW COMBY 1 el cual contiene la siguiente composición y concentración: N (3%), Mg (6%), B (0.50%), C (1.5%), Fe (4%), Mn (4%), Mo (0.10%), Zn (1.5%) con una dosificación de 10 g en 10 litros de agua.

Inoculación de hongos micorrízicos (encapsulados)

Figura 8.

Inoculación de hongos micorrízicos



Fuente: Tucto M y Urgiles N. 2023.

Estructuras de las capsulas de los hongos de micorrizas

Las estructuras micorrízicas contienen una diversidad de morfoespecies, incluyendo tres del género *Glomus*, una del género *Acaulospora* y una del género *Scutellospora*. La cantidad de esporas con el número de encapsulados: 100 esporas en 10 encapsulados, 300 esporas en 20 encapsulados y 500 esporas en 30 encapsulados.

Aplicación de encapsulados en el cafetal

En el mes de junio, durante el proceso de trasplante, se aplicaron encapsulados directamente debajo de la raíz del cafeto. Esta técnica asegura que los nutrientes se liberen cerca de las raíces, donde las plantas pueden absorberlos más eficientemente.

Variables dasométricas

Inicialmente se asignó un número de identificación único a cada planta para el seguimiento de los resultados de las pruebas dasométricas, para realizar la medición una vez al mes durante los meses de (junio, Julio, agosto y septiembre), considerando:

Altura de la planta (cm): se colocó frente a la planta y se mantuvo la regla métrica o cinta recta en posición vertical, empezando por el cuello de la planta y subiendo hasta la parte superior de la planta (ápice), para terminar con la medición de la altura se registraron los datos en una libreta de campo.

Diámetro de la planta (mm): Para medir el diámetro de la planta se colocó el pie de rey alrededor de la zona del tallo principal en la parte inferior de la planta y se registró el diámetro en mm.

Número de hojas: se aseguró que la planta esté en condiciones óptimas y saludables retirando las hojas dañadas o muertas que puedan dificultar la identificación de las hojas nuevas. A continuación, se determinó las hojas maduras, jóvenes e incluso en desarrollo, realizando una repetición para verificar el número correcto de hojas.

El análisis de datos se realizó bajo el esquema de análisis de varianza. El procesamiento, análisis estadístico y las pruebas de Tukey, aplicando el Software estadístico InfoStat, versión 2015 (Di Rienzo et al., 2008) y los gráficos se elaboraron con la ayuda del programa Microsoft Excel versión 2016.

6. Resultados

6.1. Resultados del primer objetivo: caracterización física de los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia.

6.1.1. *Material Parental*

El área de estudio se encuentra geológicamente formada por depósitos aluviales que comprende material poco consolidado, cantos y bloques de rocas metamórficas y volcánicas (Anexo 16).

6.1.2. *Regímenes de Humedad y temperatura del suelo*

El régimen de temperatura de los suelos del área de estudio es térmico (≥ 15 pero no < 22 °C), por cuanto la temperatura media anual del aire es de 17 °C.

Debido a que el promedio de precipitación anual (de 29 años de registro en la zona) es de 1084 mm/año, distribuida en ocho meses consecutivos (octubre a junio) y con tres meses ecológicamente secos (julio a septiembre), el régimen de humedad del suelo es údico.

6.1.3. *Procesos de formación de los suelos*

De acuerdo a la forma del terreno, el clima, la edad de los depósitos, la mineralogía y granulometría del material parental y la acción humana se determina la formación de los suelos del área de estudio, mismos que corresponden a un orden de entisoles (USDA Soil Taxonomy, 2014).

Para conocimiento e información la disposición de los horizontes en los tres bloques identificados es similar, son suelos de textura media, media-fina a gruesa con la profundidad, con estructura generalmente en bloques subangulares en los horizontes superficiales y sin estructura con la profundidad. En general estos suelos presentan condiciones físicas pobres y muy pobres para los cultivos, ya que principalmente se observan valores bajos de agua aprovechable y capacidad de aireación del suelo.

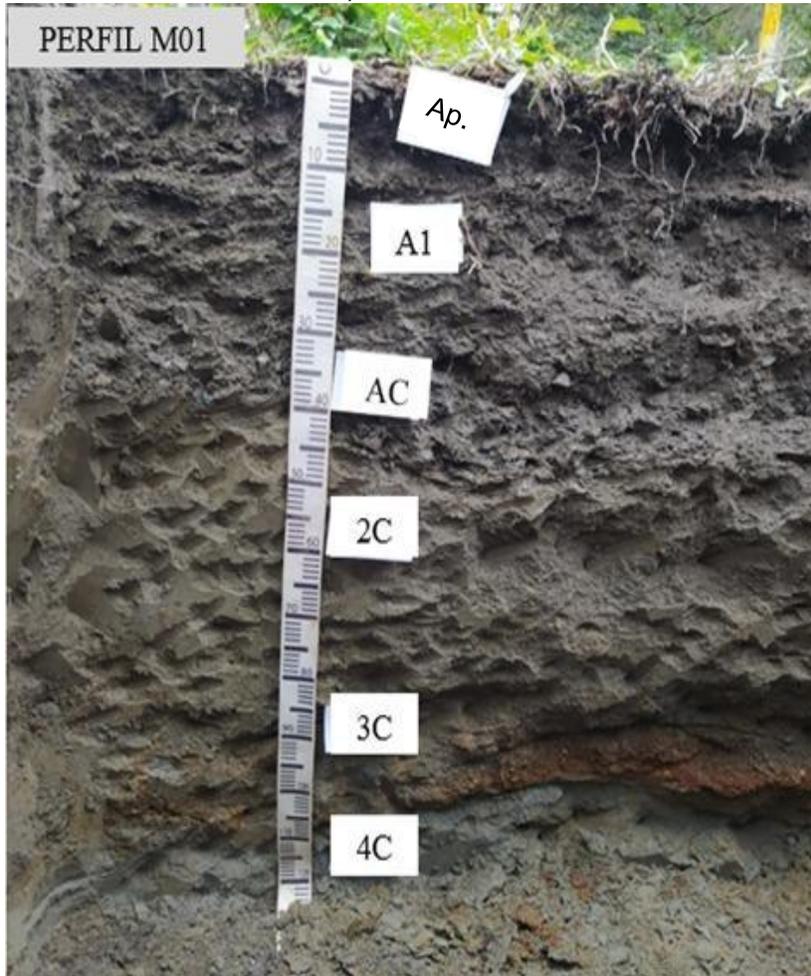
Descripción general del perfil 1

Suelo joven, compuesto por dos depósitos bien diferenciados, el primer depósito se encuentra conformado por tres horizontes, el primero corresponde a un Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm, con una textura Fo y coloración oscura; El segundo horizonte A1 que se extiende de 10cm hasta los 25 cm, de textura Fo; El tercer horizonte AC va desde los 25 cm hasta los 40 cm, de coloración clara, textura FoAo y material aluvio-coluvial. El segundo depósito

se forma por el horizonte 2C que va desde los 40 cm hasta los 70 cm, de coloración clara de textura FoAo; El quinto horizonte 3C de 20 cm y el sexto horizonte 4C de 30 cm de espesor, ambos de textura AoFo y de coloración clara, con presencia de un bolsón de arena gruesa reducida o con oxido reducción, se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana (Figura 9).

Figura 9.

Perfil 1 sector Los Molinos, 2022.



Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap (00 – 10 cm), posee color Gris muy oscuro (2,5 Y 3/1) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (FoAo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos pocos visibles (gravas) angulares y planos; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástico y friable; cantidad de poros: pocos y diámetro mediano (2-5 mm); cantidad de raíces medias, finas y comunes; límite del horizonte neto y de topografía plana.

A1 (10 – 25), es gris muy oscuro (5 Y 3/1) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (FoAcLo); estructura débil en bloques subangulares y finos; fragmentos frecuentemente visibles (gravas) subangulares y angulares; consistencia en mojado adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: frecuentes y diámetro fino; cantidad de raíces finas, gruesas y muy pocas; límite de horizonte neto y topografía plana.

AC (25 – 4), es gris oliva oscuro (5 Y 3/2) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (FoAo); estructura débil en bloques subangulares y finos; fragmentos rocosos frecuentemente visibles (gravas) subangulares y angulares; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: frecuentes y diámetro fino; sin presencia de raíces; horizonte brusco y topografía ondulado.

2C (40 – 70 cm), gris oliva (5 Y 4/2) color en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (FoAo); sin estructura; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente plástica y friable; cantidad de poros: muchos de diámetro fino y medianos; sin presencia de raíces; horizonte neto y topografía ondulado; presencia de fragmentos minerales: piritas.

3C (70 – 90 cm), marrón grisáceo oscuro (2,5 Y 4/2) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (AoFo); sin estructura; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado no adherente, en húmedo no plástico y muy friable; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces; sin horizonte.

4C (90 – 110 cm), gris rojizo oscuro (2,5 YR 4/1) en húmedo; muchas manchas medianas, definidas y límite de nitidez neto; textura al tacto (AoFo); sin estructura; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado no adherente, en húmedo no plástico y muy friable; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces.

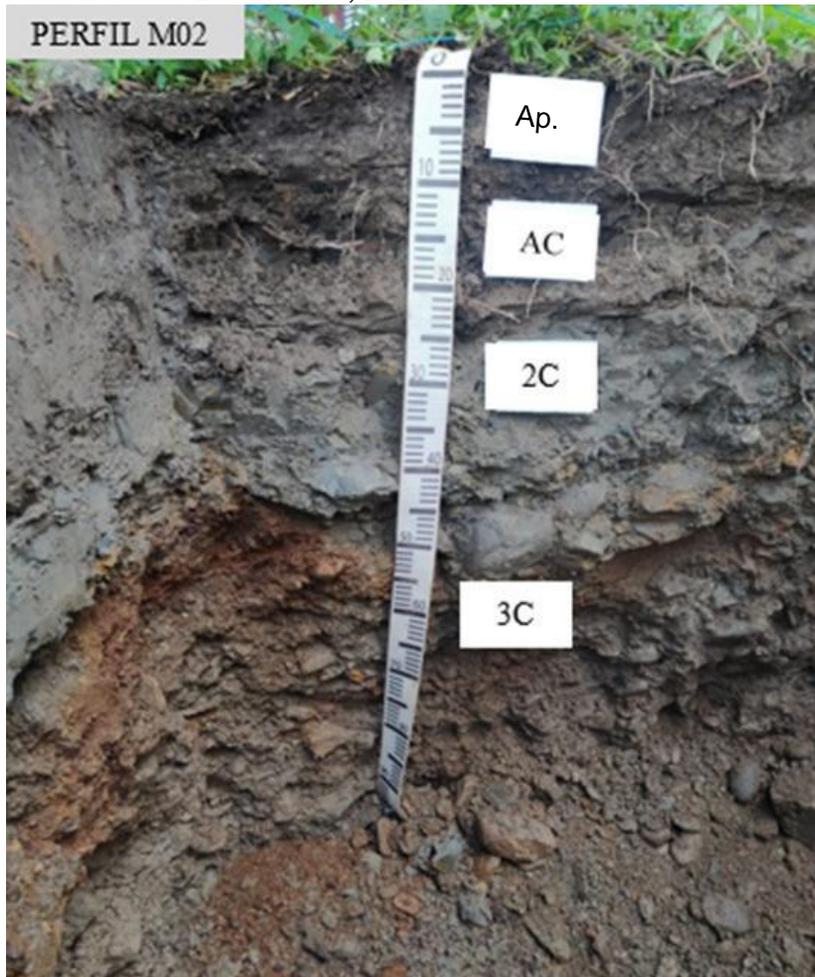
Descripción general del perfil 2

Suelo joven con presencia de tres depósitos aluviales, siendo el 3C el más antiguo con el 70% de grava, sin estructura, textura arenosa (Ao), que va desde los 45 cm hasta los 100 cm, donde se distingue tres coloraciones, el siguiente depósito compuesto por la capa 2C que se extiende desde los 25 cm hasta los 45 cm, de textura arcillo-limoso (AcLo), de dos tipos de coloración y presencia de manchas, con una fractura gleysada, que denota una lámina de agua colgada, observándose en la parte inferior una capa de suelo oxidado y el depósito más reciente formado por los horizontes Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm de textura franco (Fo), de coloración oscura y un AC que va desde los 10 cm hasta los 25 cm de textura franco-arcilloso-limoso (FoAcLo) de coloración oscura, estructurados y sin presencia de gravas.

Presenta una profundidad efectiva de 50 cm, donde en todos los horizontes se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana, pero sí de fragmentos minerales como piritas en el horizonte 3C, Figura 10.

Figura 10.

Perfil 2 sector Los Molinos, 2022.



Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap (0 – 10 cm), Color marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; sin presencia de manchas, textura al tacto (Fo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en húmedo ligeramente platica y friable; cantidad de poros: muchos y de diámetro fino; raíces finas y comunes, límite de horizonte neto y topografía plana.

AC 1 (0 – 25 cm), Gris oliva oscuro (5 Y 3/2) en húmedo; pocas manchas pequeñas, indistintas y nitidez difusa; textura al tacto (Fo); estructura débil en bloques subangulares medios y finos; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado ligeramente adherente, en

húmedo platica y friable; cantidad de poros: muchos de diámetro muy grueso y pocos de fino; presencia de pocas raíces finas, así como de medias y comunes; límite de horizonte neto y topografía plana.

2C (25 – 45 cm), Presencia de dos colores gris oscuro (2,5 Y 4/1) y (10 YR 4/2) marrón grisáceo oscuro en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (AcLo); sin estructura; fragmentos rocosos visibles: muchas gravas y pocas piedras de forma redonda; sin consistencia en mojado y húmedo; cantidad de poros: muchos de diámetro mediano; sin presencia de raíces; limite neto y topografía interrumpida.

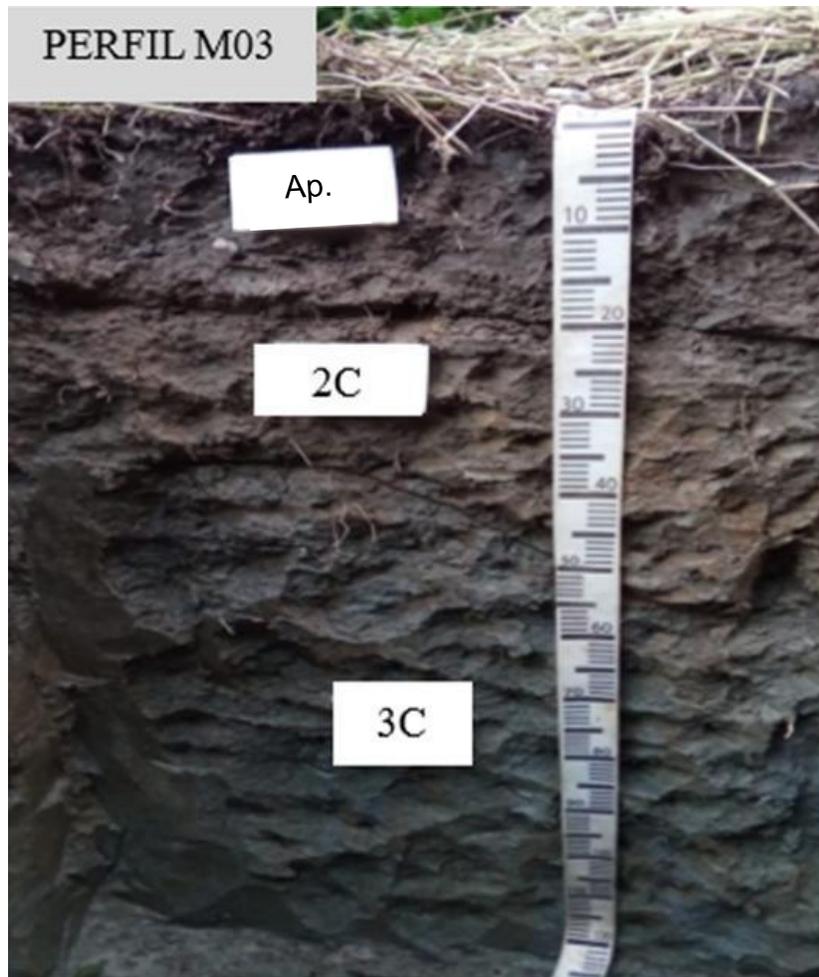
3C (45 – 100 cm), Presencia de tres colores gris oscuro (10 YR 4/1), (10YR 4/2) marrón grisáceo oscuro y (7,5 YR 4/6) marrón fuerte en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (Ao); sin estructura; fragmentos rocosos visibles: frecuentes gravas, pocas piedras redondas y arena; sin consistencia en mojado y húmedo; cantidad de poros: muchos y diámetro mediano; sin presencia de raíces; presencia de fragmentos minerales (piritas).

Descripción general del perfil 3

Suelo de origen aluvial, integrado por tres capas, un horizonte Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 25 cm con bajo contenido de materia orgánica, un 2C que va desde los 25 cm hasta los 50 cm y un 3C que empieza desde los 50 cm hasta llegar a los 120 cm, suelo compactado, con profundidad efectiva que llega a los 60 cm, de textura arcilloso- limoso (AcLo), con gran cantidad de manchas que evidencia un mal drenaje, sin presencia de grietas, donde en todos los horizontes se observó que no hay presencia de sales solubles ni restos de actividad humana Figura 11.

Figura 11.

Perfil 3 sector Los Molinos, 2022.



Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap (0 – 25 cm), Color marrón muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; sin presencia de manchas; textura al tacto (FoLo); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástica y friable, en seco muy firme; cantidad de poros: muchos y diámetro fino; pocas raíces medias y finas; límite de horizonte neto y topografía ondulada; baja contenido de materia orgánica.

2C (25 – 50 cm), Color gris (Gley 1 4/10 Y) en húmedo; muchas manchas pequeñas y medias, destacadas y nitidez neta de color marrón fuerte (7,5 YR 4/6) en húmedo; textura al tacto (AcLo); estructura masiva; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástica y friable; cantidad de poros: muchos y diámetro fino a medios; raíces finas y muy pocas; límite de horizonte neto y topografías ondulada.

3C (50 – 120 cm), Color gris (Gley 1 4/10 Y); frecuentes manchas medianas, indistintas, difusas de color amarillo parduzco (10 YR 6/6) en húmedo; textura (AcLo); estructura masiva; fragmentos rocosos no visibles; consistencia en mojado adherente, en húmedo plástica y friable; cantidad de poros: muchos y diámetro finos, medianos y grandes; sin presencia de raíces.

6.1.4. Clasificación Taxonómica

Taxonómicamente los suelos corresponden a la orden de los Entisoles suborden de los Fluvents al gran grupo Udifluvents y como subgrupos un Oxyaquic Udifluvents.

6.1.5. Características físicas de los suelos

La Tabla 9, muestra los resultados de las propiedades físicas del suelo para los tres perfiles. Los horizontes Ap, muestran texturas de franco a franco limoso; densidad aparente oscila entre 1,11 a 1,49 g/cm³. De acuerdo con el diagrama triangular de las características físicas de los suelos, se determinó que la capacidad de aireación es media y el volumen físicamente inerte (VFI) es bajo. Esto indica que las condiciones físicas del suelo se clasifican entre media y pobre.

Tabla 9.

Propiedades físicas del suelo en sistema agroforestal en la Quinta experimental la “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector los Molinos, 2022.

Horizonte (Molinos)	Prof. (cm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Textura	Saturación	Capacidad de campo (%θv pF 2,52)	Punto Marchitez (%θv pF 4,20)	Agua Aprovechable (%θv pF 2,00)	Capacidad Aireación (%θv pF 2,52)	Volumen Físicamente Inerte (%θv)	Zona del Diagrama pF 2,00	Equivalencia
M1Ap	10	1,20	Fo	41,7	27,4	11,1	16,2	14,3	69,3	III	Medio
M1A1	25	1,49	Fo	26,7	19,7	6,9	12,7	6,9	80,3	I	Muy Pobre
M2Ap	10	1,11	Fo	36,3	25,8	12,0	13,7	10,0	75,7	I	Muy Pobre
M Ac	25	1,32	Fo	31,4	20,0	5,2	14,8	11,3	73,8	II	Pobre
M Ap	25	1,24	FoLo	41,2	31,9	9,7	22,1	9,2	68,5	II	Pobre

Fuente: Autora.

En la Tabla 10 se observa las condiciones físicas del suelo en los 16 tratamientos en estudio, en densidad aparente el valor más alto es 1,46 g cm³ en el tratamiento 10 y el valor más bajo es 1,07 en el tratamiento 7. Según la clasificación el suelo en los tratamientos pertenece a la clase muy pobre y medio

Tabla 10.

Propiedades físicas del suelo de los dieciséis tratamientos en la Quinta experimental la “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector los Molinos, 2022.

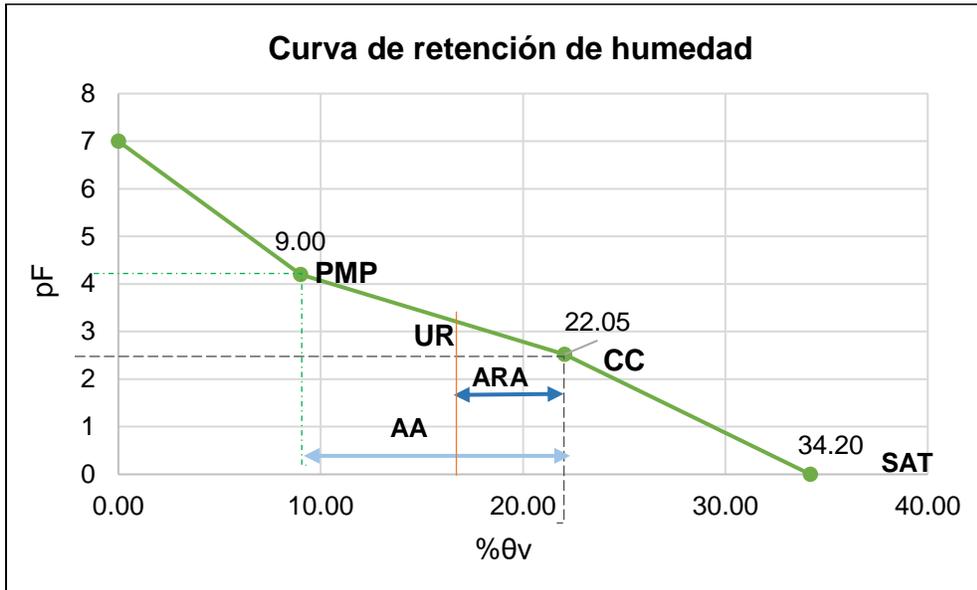
Trat.	Prof. (cm)	Da g/cm ³	Condiciones Físicas del suelo (%θv)							Equivalencia		
			SS	CC	PMP	AA	Clase	CA	Clase	VFI	Zona	Clase
T1	20	1,11	50,27	30,42	16,53	13,89	M	19,85	A	66,26	III	Medio
T2	20	1,37	36,26	28,51	15,49	13,02	M	7,75	B	79,23	I	Muy pobre
T3	20	1,24	44,98	28,79	15,65	13,14	M	16,19	A	70,67	II	Pobre
T4	20	1,24	44,02	27,79	15,1	12,69	M	16,23	A	71,08	II	Pobre
T5	20	1,44	30,67	27,03	14,69	12,34	M	3,64	MB	84,02	I	Muy pobre
T6	20	1,3	43,46	28,49	15,48	13,01	M	14,97	A	72,02	II	Pobre
T7	20	1,32	38,03	27,49	14,94	12,55	M	10,54	M	76,91	I	Muy pobre
T8	20	1,26	42,72	28,41	15,44	12,97	M	14,31	A	72,72	II	Pobre
T9	20	1,27	44,69	28,59	15,54	13,05	M	16,1	A	70,85	II	Pobre
T10	20	1,46	30,15	28,01	15,22	12,79	M	2,14	MB	85,07	I	Muy pobre
T11	20	1,34	36,83	27,04	14,69	12,35	M	9,79	B	77,86	I	Muy pobre
T12	20	1,07	49,71	28,13	15,29	12,84	M	21,58	MA	65,58	III	Medio
T13	20	1,35	49,1	26,66	14,49	12,17	M	22,44	MA	65,39	III	Medio
T14	20	1,27	42,44	29,03	15,78	13,25	M	13,41	M	73,34	II	Pobre
T15	20	1,32	38,99	27,85	15,14	12,71	M	11,14	M	76,15	I	Muy pobre
T16	20	1,31	34,71	26,44	14,37	12,07	M	8,27	B	79,66	I	Muy pobre

Fuente: Autora.

6.1.6. Curvas Características de humedad

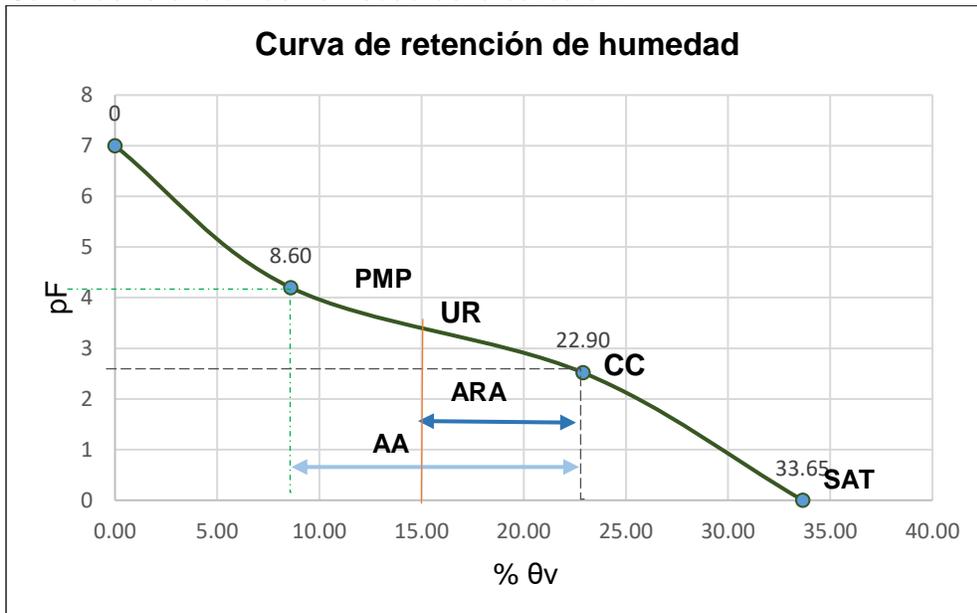
En las Figuras 12, 13 y 14 se presentan las curvas de retención de humedad correspondiente a los perfiles unos, dos y tres respectivamente, revelando que el porcentaje de agua aprovechable en el suelo es de 14,50% en el perfil uno; de 14,35 % para el perfil dos; y, para el perfil tres de 12,41%; para el agua rápidamente aprovechable se obtuvo porcentaje 6,24, 4,83 y 6,21. Estos resultados se obtuvieron en el marco de una investigación, proporcionando información valiosa sobre la capacidad de retención de humedad en la zona estudiada.

Figura 12.
 Curva de retención de humedad de la calicata 1.



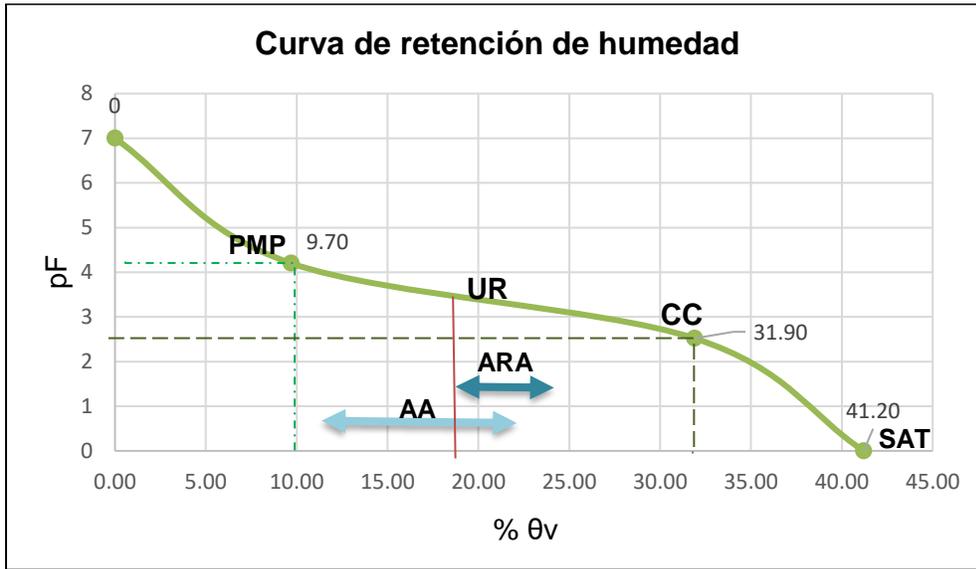
Fuente: Autora.

Figura 13.
 Curva de retención de humedad de la calicata 2.



Fuente: Autora.

Figura 14.
Curva de retención de humedad de la calicata 3.



Fuente: Autora.

6.1.7. Velocidad de Infiltración

La Tabla 11 presenta los resultados obtenidos en el ensayo de campo. Se observa que la velocidad de infiltración en el perfil uno fue de 5,21 cm/h, lo cual se clasifica dentro de un rango moderado. En cuanto al perfil dos, se muestra una velocidad de infiltración de 10,29 cm/h, también categorizada como moderada. Finalmente, el perfil tres indica una velocidad de 11,51 cm/h, catalogada igualmente como moderada (ver Anexo 4).

Tabla 11.
Velocidad de infiltración cm/h en los tres perfiles de suelo.

Perfil	VI (cm/h)	Clasificación
1	5,21	Moderada
2	10,29	Moderada
3	11,51	Moderada

Fuente: Autora.

6.2. Resultados del segundo objetivo: determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del café en su etapa inicial.

pH

Para la zona de estudio el pH varía entre 4,3 a 6,6 lo que indica que son suelos ácidos y prácticamente neutro la información detallada por cada tratamiento se encuentra en el Anexo 6.

6.2.1. Variables dasométricas en el cultivo del café

Los valores registrados en el desarrollo de las plantas de café hasta los 90 días después del establecimiento en el campo son; altura, número de hojas, diámetro del tallo, número de ramas.

Altura

En la Tabla 12, se detalla la altura de las plantas a los 0, 30, 60 y 90 días después del trasplante y su incremento. El mayor valor del incremento fue de 5,5 cm, que se registra en el tratamiento T15, con 10% de abono orgánico y 20 encapsulados de hongos micorrízicos arbusculares. Y la mínima de 3,3 cm de altura se observó en el tratamiento T5, con 6% de abono orgánico y sin encapsulados de hongos micorrízicos arbusculares. Estos resultados destacan la influencia significativa de la combinación específica de abono orgánico y hongos micorrízicos en el desarrollo vertical de las plantas en el periodo post-trasplante.

Tabla 12.
Altura de planta (cm) de junio hasta septiembre.

Tratamiento	0	30	60	90	Incremento
T1 (AO_0+HMA_0)	27,3	28,5	29,7	30,8	3,5
T2 (AO_0+HMA_10)	25,9	27,9	29,1	30,4	4,6
T3 (AO_0+HMA_20)	26,1	27,4	28,7	29,8	3,6
T4 (AO_0 +HMA_30)	26,7	28,0	29,3	30,6	3,9
T5 (AO_6+HMA_0)	27,0	28,0	29,1	30,2	3,3
T6 (AO_6+HMA_10)	27,2	28,4	29,6	30,9	3,7
T7 (AO_6+HMA_20)	25,1	26,5	27,9	29,7	4,6
T8 (AO_6+HMA_30)	25,0	26,3	27,7	28,8	3,8
T9 (AO_8+HMA_0)	25,8	26,8	28,1	29,5	3,7
T10 (AO_8+HMA_10)	25,5	26,8	27,9	29,4	3,9
T11 (AO_8+HMA_20)	25,0	26,3	28,1	29,7	4,7
T12 (AO_8+HMA_30)	25,9	27,4	29,1	30,5	4,6
T13 (AO_10+HMA_0)	25,4	26,7	28,2	29,8	4,4
T14 (AO_10+HMA_10)	24,2	25,9	27,4	28,8	4,6
T15 (AO_10+HMA_20)	23,4	25,3	27,1	28,9	5,5
T 16 (AO_10+HMA_30)	25,0	26,7	28,1	29,6	4,6

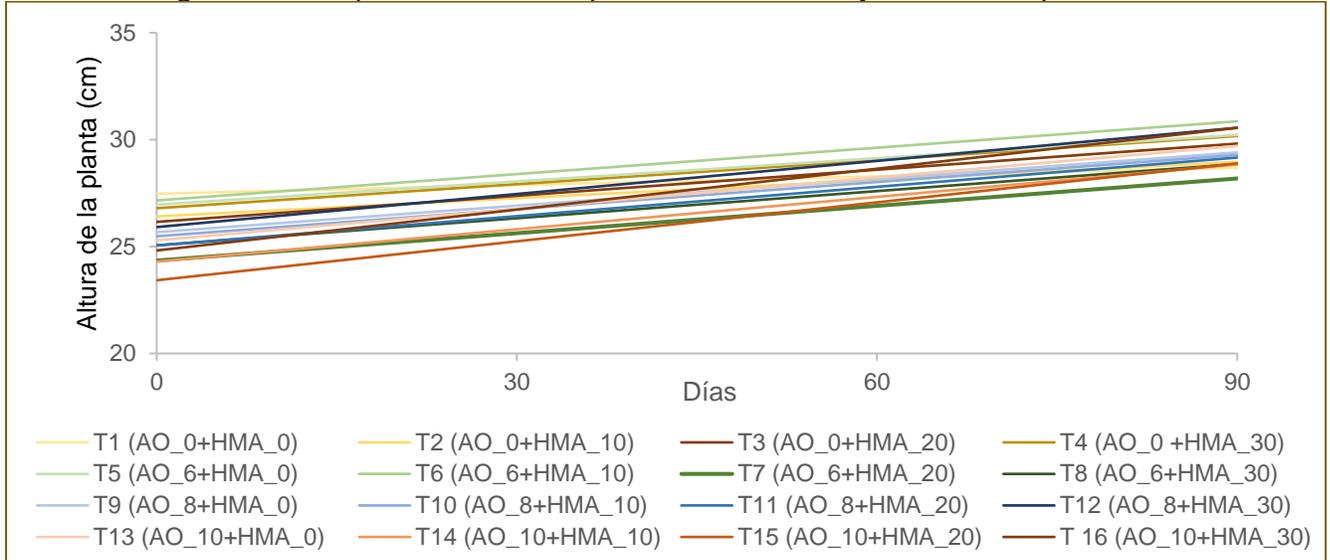
Fuente: Autora.

En la Figura 15, se ilustra el modelo de regresión lineal empleado para evaluar la altura de las plantas de café en cm. Los resultados obtenidos de los 16 tratamientos presentan variables

positivas muy similares para las aplicaciones de los tratamientos T16, T7, T11, con respecto al testigo.

Figura 15.

Modelo de regresión lineal para altura de las plantas de cafeto de junio hasta septiembre.



En la Tabla 13, se muestra el análisis de regresión lineal en la cual la constante de los 16 tratamientos; en el T15 indica que inició con 23,5 cm el cual crece 0,06 cm por día frente al testigo (T1) que indica un valor de 27,3 el cual crece 0,04 cm por día.

Tabla 13.

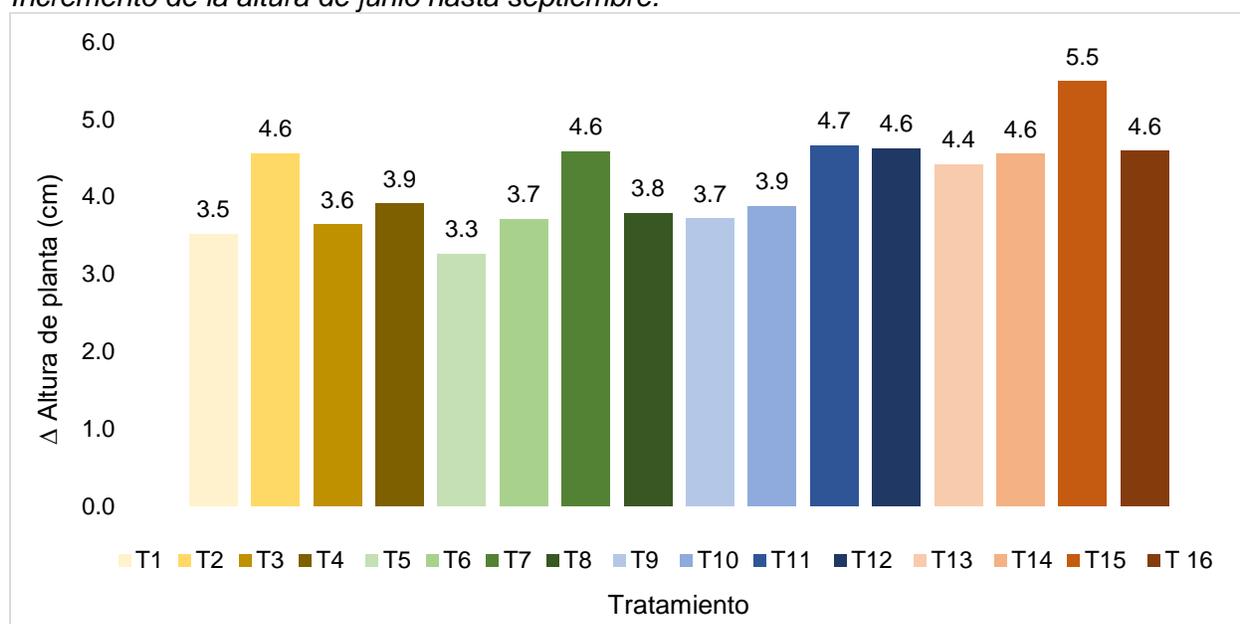
Análisis de regresión lineal para altura de cafeto en sus diferentes tratamientos de junio hasta septiembre.

Tratamiento	Modelo Regresión Lineal				R ²
T1 (AO_0+HMA_0)	Altura =	0,04Días	+	27,3	1,00
T2 (AO_0+HMA_10)	Altura =	0,05Días	+	26,1	0,98
T3 (AO_0+HMA_20)	Altura =	0,04Días	+	26,2	1,00
T4 (AO_0 +HMA_30)	Altura =	0,04Días	+	26,7	1,00
T5 (AO_6+HMA_0)	Altura =	0,04Días	+	27,0	1,00
T6 (AO_6+HMA_10)	Altura =	0,04Días	+	27,2	1,00
T7 (AO_6+HMA_20)	Altura =	0,05Días	+	25,0	1,00
T8 (AO_6+HMA_30)	Altura =	0,04Días	+	25,1	1,00
T9 (AO_8+HMA_0)	Altura =	0,04Días	+	25,7	0,99
T10 (AO_8+HMA_10)	Altura =	0,04Días	+	25,5	1,00
T11 (AO_8+HMA_20)	Altura =	0,05Días	+	24,9	1,00
T12 (AO_8+HMA_30)	Altura =	0,05Días	+	25,9	1,00
T13 (AO_10+HMA_0)	Altura =	0,05Días	+	25,3	1,00
T14 (AO_10+HMA_10)	Altura =	0,05Días	+	24,3	1,00

T15 (AO_10+HMA_20)	Altura =	0,06Días	+	23,5	1,00
T 16 (AO_10+HMA_30)	Altura =	0,05Días	+	25,1	1,00

En la Figura 16, se presenta la tabla de altura e incremento durante los 90 días, destacando el tratamiento T15 con un notorio aumento de 5,5 cm en comparación con el testigo, que registra una altura de 3,5 cm. Los resultados de la prueba de Tukey, realizada con un nivel de significancia del 0,05 %, revelan que no hay significancia en altura para los tratamientos, sin embargo, hay una tendencia al crecimiento en el tratamiento 15.

Figura 16.
Incremento de la altura de junio hasta septiembre.



Números de hojas.

En la Tabla 14, se evidencia el número de hojas del cafeto de 0 – 90 días después del trasplante y el incremento de los diferentes tratamientos. Siendo T16, con un 10% de abono orgánico y 30 encapsulados de hongos micorrízicos arbusculares, el cual muestra un significativo aumento en el número de hojas, al igual que T7 (6% de abono orgánico y 20 encapsulados de hongos micorrízicos), T5 con 6% de abono orgánico, sin hongos y T4 con 0% de abono y 20 hongos microscópicos encapsulados exhiben un incremento de 4 hojas respecto al testigo de 3 hojas. Estos resultados resaltan la influencia positiva de la combinación específica de abono orgánico y hongos microscópicos encapsulados en el desarrollo del número de hojas en las plantas

Tabla 14.

Número de hojas de cafeto de junio hasta septiembre.

TRATAMIENTO	0	30	60	90	Incremento
T1 (AO_0+HMA_0)	11,0	12,0	14,0	14,0	3,0
T2 (AO_0+HMA_10)	11,0	12,0	13,0	14,0	3,0
T3 (AO_0+HMA_20)	11,0	12,0	13,0	15,0	4,0
T4 (AO_0 +HMA_30)	11,0	12,0	14,0	14,0	3,0
T5 (AO_6+HMA_0)	11,0	12,0	14,0	15,0	4,0
T6 (AO_6+HMA_10)	11,0	12,0	13,0	14,0	3,0
T7 (AO_6+HMA_20)	11,0	12,0	13,0	14,0	4,0
T8 (AO_6+HMA_30)	11,0	12,0	13,0	14,0	3,0
T9 (AO_8+HMA_0)	11,0	12,0	14,0	15,0	3,0
T10 (AO_8+HMA_10)	11,0	12,0	13,0	14,0	3,0
T11 (AO_8+HMA_20)	11,0	12,0	13,0	14,0	3,0
T12 (AO_8+HMA_30)	11,0	11,0	13,0	14,0	3,0
T13 (AO_10+HMA_0)	11,0	12,0	14,0	14,0	3,0
T14 (AO_10+HMA_10)	11,0	12,0	14,0	14,0	3,0
T15 (AO_10+HMA_20)	11,0	11,0	13,0	13,0	3,0
T 16 (AO_10+HMA_30)	11,0	12,0	13,0	15,0	4,0

En la Figura 17 se muestra el modelo de regresión lineal para el número de hojas de los 16 tratamientos presentan variables positivas muy similares para las aplicaciones de los tratamientos T16, T7, T4 y T5 con respecto al testigo.

Figura 17.

Modelo lineal del número de hojas de junio hasta septiembre.

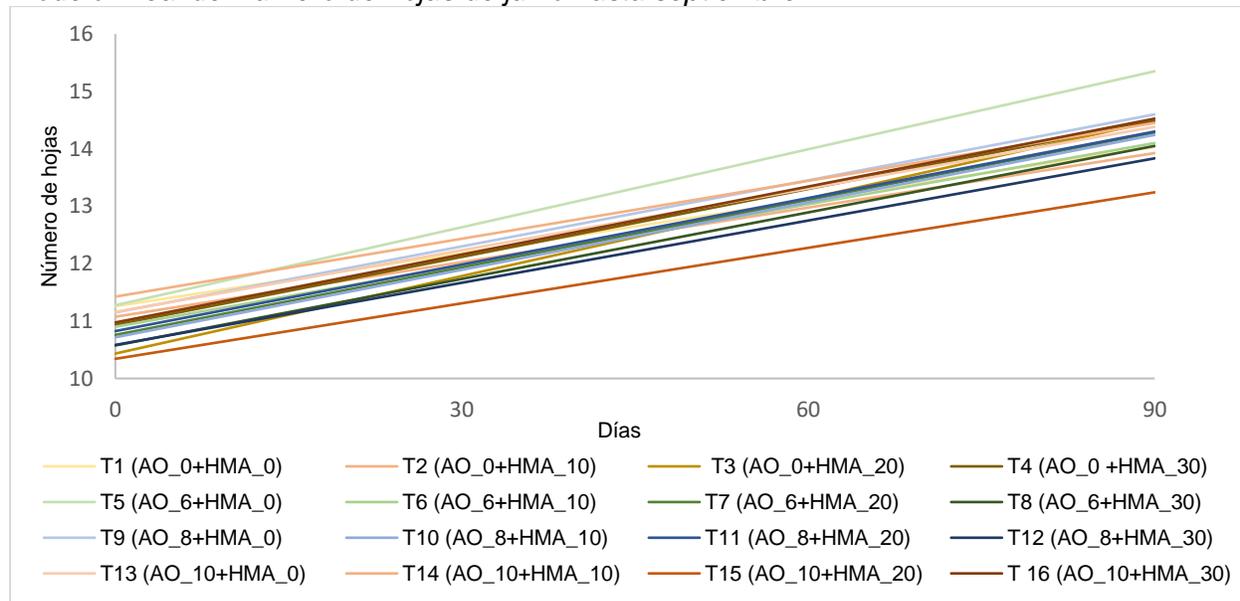


Tabla 15.

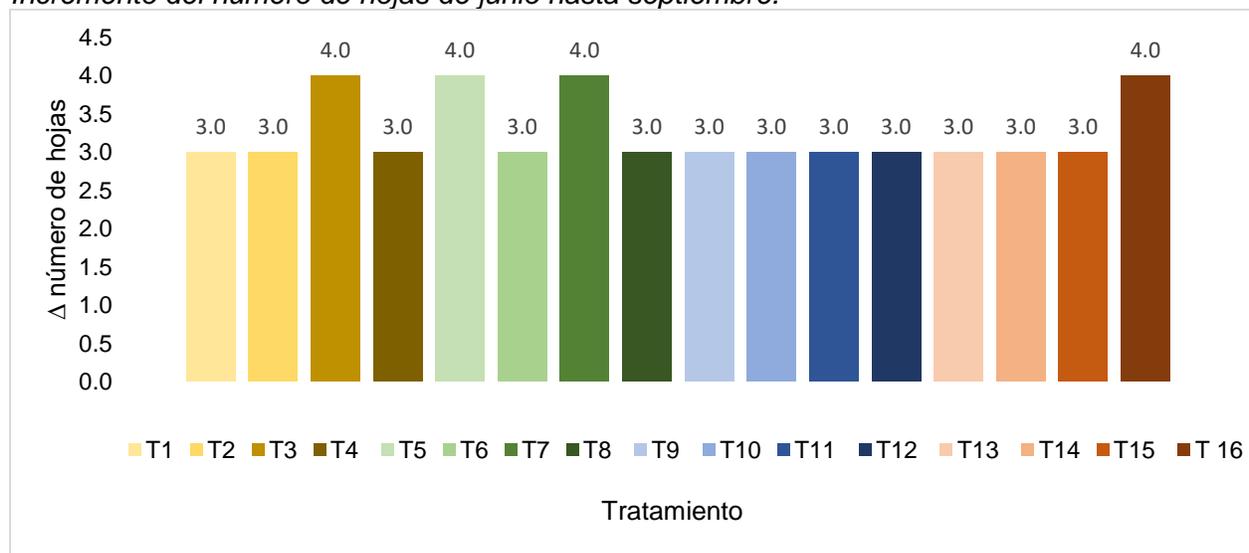
Análisis de regresión lineal del número de hojas del café en sus diferentes tratamientos de junio hasta septiembre.

Tratamiento	Modelo Regresión Lineal			R ²
T1 (AO_0+HMA_0)	Número de hojas =	0,03Días	+ 11,26	0,95
T2 (AO_0+HMA_10)	Número de hojas =	0,03Días	+ 11,08	0,98
T3 (AO_0+HMA_20)	Número de hojas =	0,05Días	+ 10,43	0,99
T4 (AO_0 +HMA_30)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,93	0,98
T5 (AO_6+HMA_0)	Número de hojas =	0,05Días	+ 11,28	0,99
T6 (AO_6+HMA_10)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,90	1,00
T7 (AO_6+HMA_20)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,76	0,99
T8 (AO_6+HMA_30)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,58	0,99
T9 (AO_8+HMA_0)	Número de hojas =	0,04Días	+ 11,15	0,99
T10 (AO_8+HMA_10)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,72	0,99
T11 (AO_8+HMA_20)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,83	1,00
T12 (AO_8+HMA_30)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,58	0,97
T13 (AO_10+HMA_0)	Número de hojas =	0,04Días	+ 11,16	0,98
T14 (AO_10+HMA_10)	Número de hojas =	0,03Días	+ 11,43	1,00
T15 (AO_10+HMA_20)	Número de hojas =	0,03Días	+ 10,34	0,94
T16 (AO_10+HMA_30)	Número de hojas =	0,04Días	+ 10,98	1,00

La Figura 18 indica que, aunque no hay una diferencia estadísticamente significativa en el número de hojas entre los tratamientos, se observa una tendencia al alza en los tratamientos T16, T7, T5 y T4, con un aumento notable de cuatro hojas. Este patrón sugiere que, a pesar de la falta de significancia estadística, podría haber factores influyentes en el crecimiento foliar.

Figura 18.

Incremento del número de hojas de junio hasta septiembre.



Diámetro del tallo.

Los resultados obtenidos en la Tabla 16, del diámetro del tallo a los 90 días después del trasplante de las plantas muestran que el mejor tratamiento es el T7 y T6 frente a los demás tratamientos compuesto por un 6 % de abonos orgánicos y un 10 y 20 % de encapsulados de hongos micorrízicos, mostrando un incremento de 1,3 mm. Sin embargo, en comparación al testigo prácticamente son iguales.

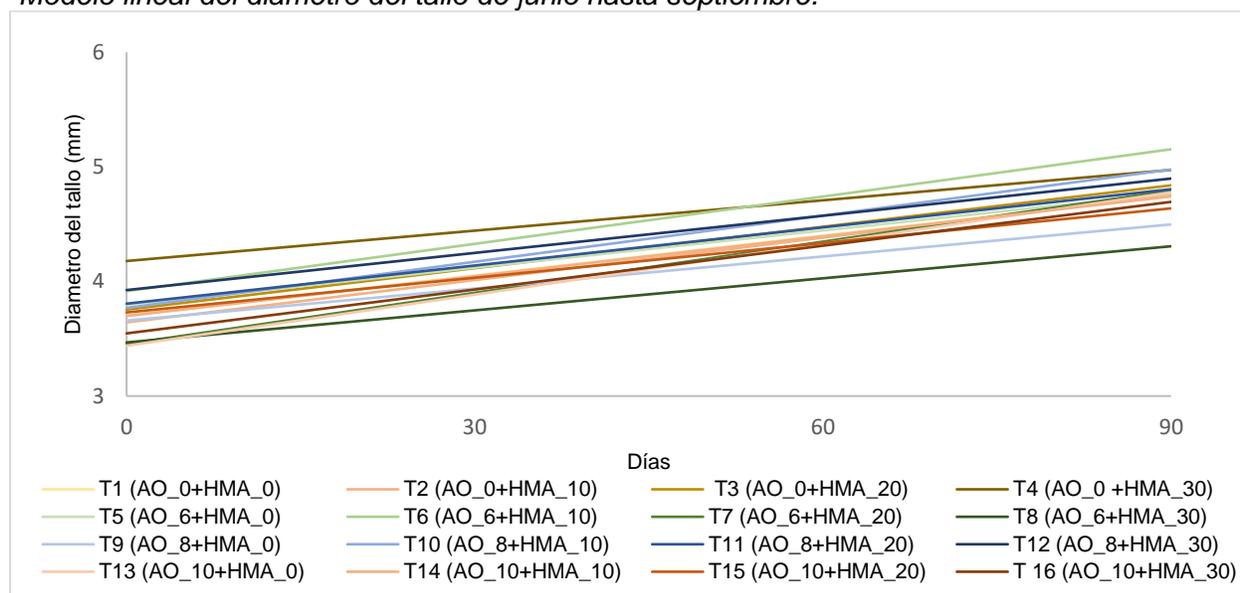
Tabla 16.
Diámetro del tallo (mm) de junio hasta septiembre.

TRATAMIENTO	0	30	60	90	Incremento
T1 (AO_0+HMA_0)	3,7	4,1	4,4	4,8	1,1
T2 (AO_0+HMA_10)	3,7	4,0	4,3	4,8	1,1
T3 (AO_0+HMA_20)	3,8	4,1	4,5	4,9	1,1
T4 (AO_0 +HMA_30)	4,1	4,5	4,8	4,9	0,8
T5 (AO_6+HMA_0)	3,8	4,1	4,4	4,8	1,0
T6 (AO_6+HMA_10)	3,9	4,4	4,7	5,1	1,3
T7 (AO_6+HMA_20)	3,5	3,8	4,3	4,9	1,3
T8 (AO_6+HMA_30)	3,4	3,8	4,0	4,3	0,8
T9 (AO_8+HMA_0)	3,7	4,0	4,1	4,5	0,9
T10 (AO_8+HMA_10)	3,7	4,2	4,6	5,0	1,2
T11 (AO_8+HMA_20)	3,8	4,1	4,4	4,8	1,0
T12 (AO_8+HMA_30)	3,9	4,3	4,6	4,9	1,0
T13 (AO_10+HMA_0)	3,4	3,9	4,4	4,7	1,3
T14 (AO_10+HMA_10)	3,7	4,1	4,4	4,7	1,0
T15 (AO_10+HMA_20)	3,7	4,1	4,3	4,7	0,9
T 16 (AO_10+HMA_30)	3,5	3,9	4,3	4,7	1,1

En la Figura 19, se muestra el modelo de regresión lineal para el diámetro de tallo en mm, los 16 tratamientos presentan variables positivas muy similares para las aplicaciones de los tratamientos T6 y T7, con respecto al testigo.

Figura 19.

Modelo lineal del diámetro del tallo de junio hasta septiembre.



En la Tabla 17, se muestra el análisis de regresión lineal en la cual la constante de los 16 tratamientos varía, pero no hay diferencia en los diámetros del tallo ya que en todos los tratamientos el diámetro aumenta 0,01 cm por día.

Tabla 17.

Análisis de regresión lineal del diámetro del tallo del cafeto en sus diferentes tratamientos de junio hasta septiembre.

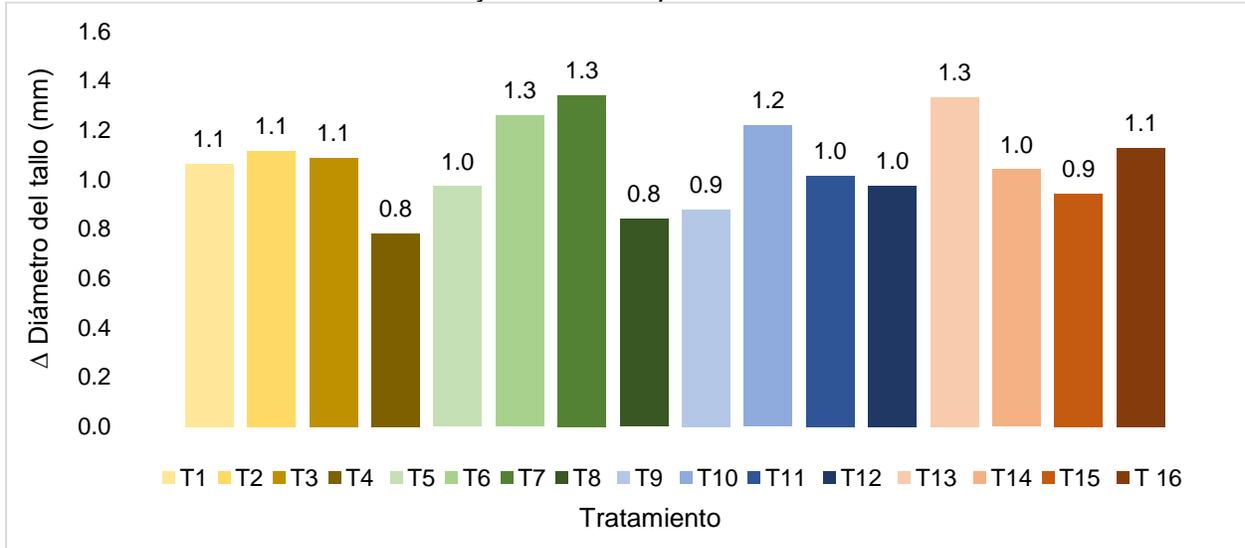
Tratamiento	Modelo Regresión Lineal				R ²
T1 (AO_0+HMA_0)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,7	0,99
T2 (AO_0+HMA_10)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,6	0,99
T3 (AO_0+HMA_20)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,8	1
T4 (AO_0 +HMA_30)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	4,2	0,97
T5 (AO_6+HMA_0)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,8	1
T6 (AO_6+HMA_10)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,9	0,99
T7 (AO_6+HMA_20)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,5	0,98
T8 (AO_6+HMA_30)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,5	1
T9 (AO_8+HMA_0)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,7	0,97
T10 (AO_8+HMA_10)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,8	1
T11 (AO_8+HMA_20)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,8	1
T12 (AO_8+HMA_30)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,9	1
T13 (AO_10+HMA_0)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,4	0,99
T14 (AO_10+HMA_10)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,7	1
T15 (AO_10+HMA_20)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,7	0,99
T16 (AO_10+HMA_30)	Diámetro tallo =	0,01Días	+	3,6	1

La Figura 20 ilustra un aumento en el diámetro de la planta a lo largo de 90 días, destacando los tratamientos T13, T7 y T6 con un incremento evidente de 1,3 mm en comparación

con el testigo, que registra un aumento de 1,1 mm. A pesar que no hay diferencia estadística, existe una tendencia al crecimiento del diámetro.

Figura 20.

Incremento del diámetro del tallo de junio hasta septiembre.



7. Discusión

7.1. Caracterizar físicamente los suelos representativos en la quinta experimental la Argelia.

Según los resultados de la Tabla 7, la densidad aparente de los suelos es de textura franca en los perfiles uno y dos varía entre 1,17 y 1,38 g/cm³. Al comparar estos valores con la densidad aparente ideal para esta textura, que debe ser inferior a 1,40 g/cm³ (según la Tabla 1), se observa que se encuentran dentro del rango esperado (Salamanca y Khalajabadi, 2005). En cuanto al suelo de textura franco limosa en el perfil tres, su densidad aparente es de 1,24 g/cm³, también en concordancia con el rango ideal para esta textura (Rubio, 2010).

Las condiciones físicas de los perfiles de suelo en el primer horizonte, se encuentran en la zona de pobre a medio y en los tratamientos varían de pobre a media, según el triángulo de las características físicas del suelo. En relación con los tratamientos T2, T5, T7, T10, T11, T15 y T16, se ubican en la clase muy pobre, mientras que los tratamientos T3, T4, T6, T8, T9 y T14 están en la clase pobre, y los tratamientos T1, T12 y T13 se encuentran en la categoría media. Resultados similares obtuvo Macas, (2021) que ubica a los suelos de los molinos en la zona I del diagrama triangular al presentar las siguientes características: textura franco con densidad aparente de 1,4 g/cm³, valores en porosidad total de 47,2 %, capacidad de campo de 42,2 %, punto de marchitez permanente de 9,6 % , agua aprovechable de 32,6 % y la capacidad de aireación 5 %.

En este contexto, la capacidad de aireación, evaluada en revela condiciones que concuerdan con la perspectiva de Salamanca y Sadeghian (2005), quienes explican que este fenómeno puede atribuirse a la disminución de macroporos y al aumento de microporos en el suelo. Vistoso y Martínez (2020) añaden que la introducción de grandes cantidades de ganado vacuno en áreas de terreno reducidas, genera una alteración en la estructura del suelo debido a la presión ejercida por el pisoteo de los animales. Este hallazgo respalda las observaciones de Ramírez (2023) y Fernández et al. (2006), quienes sostienen que el pastoreo en climas mediterráneos áridos conlleva a la disminución de la porosidad total, el agua útil, y la densidad aparente, además de incrementar la resistencia a la penetración. Asimismo, Valarezo *et al.* (2000), afirman que los suelos en el piso templado del sur de los Andes ecuatorianos ocupados por pasto exhiben una capacidad de aireación muy baja, lo que resulta en una descomposición lenta de la materia orgánica.

En cuanto a las curvas características de humedad de la zona de estudio, la Capacidad de campo, Punto de Marchitez Permanente, Agua Aprovechable; según Salcedo et al. (2007) el

porcentaje de agua aprovechable indica la fracción del agua total presente en el suelo que está disponible para las plantas, por lo tanto, en este contexto los rangos de 12% a 10 % son considerados moderados para suelos francos, esto según corrobora Valencia et al. (2002).

La infiltración de la zona de estudio en promedio es de 10,29 cm/h, moderada, la misma que está directamente relacionada con la textura de tipo franco, valores que concuerda con Rosales et al. (2020) que afirma que el rango de infiltración para suelos francos va del 5 a 12 cm/h es moderado de tal manera que el suelo puede absorber agua de manera efectiva.

7.2. Determinar el efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos en el crecimiento del cafeto en su etapa inicial.

La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares pueden mejorar el rendimiento, crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas de café, debido al aumento de absorción de nutrientes como fósforo y nitrógeno, mayor resistencia al estrés abiótico y distribución y creciente de raíces (Franco, 2021). Su adecuado manejo es crítico, dado que errores durante la inoculación les vuelve más susceptibles a plagas, enfermedades y condiciones adversas como la sequía y la salinidad (Trejo et al., 2018).

Al aplicar abonos orgánicos y encapsulados hongos micorrízicos arbusculares los tratamientos no presentaron diferencias frente al testigo. Entre todos los tratamientos se destaca el T15 (AO_10+HMA_20) destacó con un aumento del 57,14 % con respecto a la altura, resultados superiores a los de Trejo et al. (2018) quien obtuvo un aumento de 19,8 % de altura en relación al testigo, porcentaje que se atribuye al uso de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantas de café desde la etapa de semillero durante un periodo de 11 meses dentro de un invernadero. En cambio, en Tucto (2023), el incremento es de 25 %, en condiciones de invernadero con una altura de 9,3 cm en etapa inicial, Sin embargo, es importante considerar los múltiples elementos que influyen durante el desarrollo del cultivo, tales como la temperatura, la humedad, la precipitación y un tiempo de evaluación de aproximadamente dos años (Trejo et al., 2018).

El número de hojas el incremento se vio favorecido en el tratamiento T3, T5, T7 y T16 con 0, 6 Y 10 % de abonos orgánicos y 0, 20 y 30 encapsulados de HMA con el 33,33%, estos resultados difieren a los de Pérez et al. (2015) quien asevera que una planta de café en esa edad posee de 10 a 20 pares de hojas lo que asume un incremento del 25% por ende, es efectivo el uso de abonos orgánicos y micorrizas durante la etapa de desarrollo de la planta. Según Carrillo et al. (2002) esto se atribuye al Incremento en la eficiencia en la absorción de nutrientes: La

relación simbiótica entre las micorrizas y las raíces del café que permite aumentar la superficie de contacto con el suelo, lo que facilita la absorción de nutrientes (potasio, fósforo, nitrógeno, etc.) para la planta.

Los diámetros de las plantas de café bordean de 10 a 20 mm a los 100 días, estos resultados son superiores a los alcanzados en el tratamiento T6 y T7 (AO_6+HMA_10) y (AO_6+HMA_20) con el 18,18 % de la respectiva investigación, dentro de este tiempo, por consiguiente, los resultados son inferiores, debió a que las micorrizas están más relacionadas con la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, del suelo y su transferencia a las plantas. No están directamente involucradas en la formación del tejido estructural de la planta, como el aumento del diámetro del tallo, además, a esto se suma los factores genéticos y ambientales (Uc-Ku et al. 2019).

8. Conclusiones

- Se determina que las propiedades físicas iniciales del suelo, tales como su densidad aparente de 1,11 a 1,49 g/cm³, son favorables para el cultivo de café. Esta densidad resulta fundamental, dado que impacta positivamente en la retención de agua, la adecuada aireación del suelo y la penetración de las raíces, aspectos esenciales para el desarrollo óptimo de las plantas de café.
- Las características físicas del suelo, sector los molinos, cantón y provincia de Loja, para el crecimiento de las plantas son pobres, el agua aprovechable se ubica en rango medio, existe una baja capacidad de aireación y un volumen físicamente inerte alto.
- En conclusión, se determina que la textura inicial del suelo, siendo franca, es óptima para el desarrollo del cultivo de café. Esta característica del suelo juega un papel fundamental en el éxito de la producción cafetalera, proporcionando las condiciones adecuadas para el crecimiento saludable de las plantas y contribuyendo significativamente a la calidad y rendimiento del cultivo.
- La investigación no mostró una significación estadística en los tratamientos utilizados en relación a los hongos micorrízicos, a pesar de su potencial para mejorar la simbiosis entre minerales, plantas y suelo.
- Se presentó significancia para el factor de abonos orgánicos durante la etapa inicial, respectivamente para la altura de las plantas de cafeto con un 22%.

9. Recomendaciones

Con base en los datos recopilados durante el desarrollo a campo abierto del cultivo café, se pueden proponer las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda priorizar el uso de abonos o materia orgánica de granulometría gruesa en suelos arcillosos para evitar la sedimentación. Esto se debe a que las partículas gruesas tienen una mayor capacidad de retención de agua y aireación, lo que ayuda a prevenir la compactación del suelo y facilita el drenaje adecuado. Al incorporar este tipo de materiales al suelo arcilloso, se mejora su estructura y se reduce el riesgo de formación de capas compactadas que puedan obstaculizar el crecimiento de las raíces y el desarrollo de las plantas.
- De igual manera se debe considerar que las plantas que se vayan a trasplantar sean uniformes en altura, número de hojas y diámetro.
- Asimismo, la variabilidad climática en la extensión Experimental Argelia, caracterizada por fuertes vientos y exceso de precipitación, se sugiere considerar el cultivo de café en invernaderos. Estas estructuras ayudarán a mitigar los efectos negativos de las condiciones climáticas adversas, como la lixiviación de nutrientes por altas precipitaciones y los daños provocados por vientos fuertes, que pueden afectar la estabilidad del cultivo y el anclaje de las raíces en el suelo.
- Se recomienda fomentar el uso de biofertilizantes micorrízicos y otros productos disponibles en el mercado. Esta práctica promueve una agricultura consciente con el medio ambiente, mejora la microbiología del suelo y contribuye a una producción más orgánica al reducir la dependencia de productos químicos
- La aplicación de productos de hongos micorrízicos debería extenderse a otros cultivos de alta producción y consumo, como el tomate riñón, maíz y hortalizas, demostrando su eficacia. Esta práctica puede llevarse a cabo al utilizar estos productos junto con diferentes variedades de café, lo que permitiría un control más preciso en el manejo de plagas y enfermedades, reduciendo así los costos de producción.
- Se sugiere llevar a cabo la inoculación de productos micorrízicos en condiciones controladas, como en viveros o semilleros, para garantizar una simbiosis más eficaz con las raíces. Este enfoque puede ser especialmente beneficioso al considerar la aplicación en los cultivos, asegurando una transición exitosa desde el vivero hasta el campo para optimizar la producción.

10. Bibliografía

- Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (1999). *Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317302.pdf>.
- Alvarado S., M. (1994). *Cultivo y beneficiado del café*. https://books.google.com.ec/books?id=15qrSG51I4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_bse_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Asociación Nacional del café Anacafé, (2019). Guía de variedades de café.
- Balcázar, L. (2010). Flujos laterales del agua en dos suelos típicos de un bosque primario de montaña en la reserva biológica San Francisco, en el sur del Ecuador. Researchgate.net. <https://doi.org/10.13140/2.1.4605.6006>
- Barrer, S. E. (2009). El Uso De Hongos Micorrizicos Arbusculares Como Una Alternativa Para La Agricultura. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 124–132.
- Bejar Pulido, S.J. et al. (2020). Curvas de Retención de Humedad y Modelos de Pedotransferencia en un Andosol Bajo Distintos Usos de Suelo, *Revista mexicana de ciencias forestales*. Available at: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322020000300031 (Accessed: 04 April 2024).
- Blanco, F., & Salas, E. A. (1997). MICORRIZAS EN LA AGRICULTURA: CONTEXTO MUNDIAL E INVESTIGACION REALIZADA EN COSTA RICA. *Mag.Go.Cr.* https://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n01_055.pdf.
- Cadena, V. H. (2016). Hablemos de riego. In *Congope* (Vol. 1, Issue 2). <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Calvache, M. (2010). Física de suelos y su relación con los problemas ambientales. *XII Congreso de La Ciencia Del Suelo, SECS., February*, 1–15.
- Camargo-Ricalde, S. L., Montañó, N. M., De La Rosa-Mera, C. J., & Montañó-A, S. (2012). Micorrizas: Una Gran Unión Debajo Del Suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13, 19. <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>
- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., Cruz-Ortega, R., Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022a). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>

- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., Cruz-Ortega, R., Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022b). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Carvajal, J., & Mera, A. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. Researchgate.net. https://www.researchgate.net/publication/262437031_Fertilizacion_biologica_tecnicas_de_vanguardia_para_el_desarrollo_agricola_sostenible.
- Clavijo, N. (2012). *Evaluación de la calidad del suelo en el sistema productivo orgánico la estancia*. Bogota.
- Damatta, F., & Rodríguez, N. (2007). Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana ISSN 0120-9965*, 25(1), 113–123.
- Dane, J. y, & Hopmans, J. (2010). *Water retention and storage* (California (ed.)). University of California. <http://hopmans.lawr.ucdavis.edu/papers-pptzip/Chapt3-3-1&21.pdf>
- Di Rienzo J., Casanoves F., Balzarini M., Gonzalez L., Tablada M., y Robledo C., (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado*. (s. f.). Recuperado 20 de enero de 2024, de <https://www.redalyc.org/journal/5862/586264983003/html/>
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. *Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación*, 100. file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00(1).pdf
- FAO. (2022). *Propiedades físicas del suelo*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*.
- Franco, J. (2004). *EFFECTOS BENEFICIOSOS DE LAS MICORRIZAS SOBRE LAS PLANTAS*. *Ciaorganico.net*. https://ciaorganico.net/documypublic/200_infoagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf.
- Fernández C., Y. (2014). Universidad Nacional De Loja Autor. *Universidad Nacional De Loja*, 62. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESISWILSONFERNANDO.pdf>.
- Fernández, M., & Isabel, I. (2016). Estudio de la presencia de micorrizas arbusculares en zonas áridas de la provincia de Almería. Universidad de Almería.

- Harrison, M. J. (2005). Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology*, 59(1), 19–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.58.030603.123749>
- Herrera Pinilla, J. C., & Cortina Guerrero, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. *Cenicafé*, 1(1), 117–121. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07
- Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). (2019). *Manual de producción sostenible de café*.
- INTA. (2012). *DENSIDAD APARENTE*.
- INTAGRI. (2017). Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas. *INTAGRI, Cuadro 1, 5*.
- INTRAGRI. (2018). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas*. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- Jamiołkowska, A., Książniak, A., Gałązka, A., Hetman, B., Kopacki, M., & Skwaryło-Bednarz, B. (2018). Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: A Review. *International Agrophysics*, 32(1), 133–140. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090>
- Jiménez, A. S., & Khalajabadi, S. S. (s. f.). *LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACIÓN CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA*.
- Jord, A. (2006). *MANUAL DE EDAFOLOGIA*.
- Kirkham, M. B. (2014). *Principles of soil and plant water relations* (E. Unidos (ed.); Segunda Ed). Universidad de Kansas. https://books.google.co.ve/books?id=Y5r8AgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- López Pérez, M. A. (2016). *Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífugas para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente*. [BachelorThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8068>
- Lumbí Pérez, D. H., & Zeledón Ortiz, N. M. (2015). *Evaluación del uso de micorrizas en el cultivo de café (Coffea arabica) en etapa de producción en la finca El Petén comunidad Los Robles-Jinotega, Nicaragua, I semestre 2015* [Other, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/3222/>
- Macana, Y. A. M., & Melo, M. A. R. (2010). El punto de marchitez permanente (PMP) en melina (*Gmelina arborea* L. Roxb) para la Costa Caribe colombiana ¿una característica para la

- selección de clones? *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 116-121.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num2_art:201
- Macas, M. K. I. (2021). *Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- MAG - CGINA, & INEC - ESPAC. (2021). *Superficie, Producción y Rendimiento de Café Arábigo*. In *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- MAGAP. (2021). 7457 hectáreas de café son renovadas en la provincia de Loja.
<https://www.agricultura.gob.ec/6425-hectareas-de-cafe-son-renovadas-en-la-provincia-delolja/#:~:text=Con%20este%20proyecto%2C%20alrededor%20de,fitosanitarios%20m%C3%A1s%20labores%20culturales%20propios>
- Martín, I. (2016). Estudio de la presencia de micorrizas arbusculares en zonas áridas de la provincia de Almería. Ual.Es.
https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6825/10387_Mart%C3%ADn%20Fern%C3%A1ndez%20%20Isabel%20Inmaculada.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Murillo-montoya, S. A., Mendoza-Mora, A., & Fadul-Vasquez, C. J. (2020). production La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola The importance of organic amendments in soil conservation and agricultural production. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(September), 58–68.
<http://revistas.sena.edu.co/index.php/recia/article/view/2503/3600>
- Nazareno, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2018). Micorrizas arbusculares: Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. *Libros de Cátedra*, 52–63.
- Páez, O. (2006). Las Micorrizas: Alternativa Ecológica para una Agricultura Sostenible. Consultado el 29 nov. 21 Artículos Científicos Repertorio Científico. ISSN 1021-6294. Vol. 16, N.º 1: Ene.-Jun. 2013: 13-21 2006. Disponible en <http://www.soil-fertility.com/micorhize/>.
- Pérez L, Y., Becerra, L. A., Alvarez G., P., González M, D., Sánchez R., Y., & Canseco P., M. (2016). *Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Development of Cultivars of Chili*. 4, 10–15.
- Peyronel, B., Fassi, B., Fontana, A., & Trappe, J. M. (1969). Terminology of mycorrhizae. *Mycologia*, 61(2), 410–411. <https://doi.org/10.1080/00275514.1969.12018747>
- Prefectura. (2015). Más productores aplican abono orgánico Nutrisano. GPL.
<https://prefectura Loja.gob.ec/mas-productores-aplican-abono-organico-nutrisano/>
- PRO-ECUADOR, I. de P. de E. e I. (2013). *Análisis sectorial del café*.
<http://www.proecuador.gob.ec/wp>

- Ravi, A., King, D. A., & Sheppard, N. (1968). *Infra-red spectra of nitrogen adsorbed on iridium*.
<https://doi.org/10.1039/TF9686403358>
- Robles, M. G. (2012). PROGRAMA DE ESTUDIOS DEL DESARROLLO Y EL TERRITORIO CONVOCATORIA 2009-2011. *Materials Science and Engineering A*, 27(1), 1–14.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02670836.2016.1231746%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2011.03.055%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.02.076%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2012.06.095%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11>
- Rodríguez Alhama, I. (2013). Reciclado en suelos de lodos de refinería : nuevas aproximaciones para la biodegradación de hidrocarburos mediante el manejo de enmiendas orgánicas. *Proyecto de Investigación:*
- Rodríguez, J. (2001). Efecto del biofertilizante Mycoral desarrollo del café (*Coffea arabica* L.) Honduras. Zamorano.edu.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ee2acc94-0892-4ad9-a8be-1a45579bd83d/content>.
- Rodríguez, M., & Aramendía, A. (2015). *Métodos didácticos para análisis de suelos* (Universida).
- Rodríguez, R. (2019). *EVOLUCIÓN DE LA ACIDEZ EN UN ULTISOL A LA APLICACIÓN DE CAL Y RESPUESTA EN LA FASE INICIAL DEL CULTIVO DEL CAFÉ (Coffea arabica L.), EN PUEBLO NUEVO DEL CANTÓN LOJA*. Universidad Nacional de Loja.
- Rosales-Naranjo, L., Pérez-Rodríguez, M., Herrera-Puebla, J., González-Rodríguez, J. A., & Cid-Lazo, G. (s. f.). Efecto del manejo del suelo sobre la infiltración en un suelo Ferralítico Rojo compactado. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(4). Recuperado 20 de febrero de 2024, de <https://www.redalyc.org/journal/5862/586264983003/html/>
- Bernaza, G. (1986). Las micorrizas alternativa ecológica para una agricultura sostenible. Bogotá - Colombia: V I Pag 1 - 75 Bogotá.
- Salcedo-Pérez, E., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M., Rodríguez-Macias, R., Zamora-Natera, F., & Bugarin-Montoya, R. (2007). *La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo*.
- Soto, R., Vanegas, E., & García, N. (2014). *Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala*. 13(1), 7.
- Stürmer, S., Stürmer, R., & Pasqualini, D. (2013). *Taxonomic diversity and community structure of arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota) in three maritime sand dunes in Santa Catarina state, south Brazil*. <https://doi.org/10.1016/J.FUNECO.2018.12.003>

- Suárez de Castro, F. (1953). Distribución de las raíces del *Coffea arabica* L. en un suelo Franco-Limoso. In *Boletín Técnico CENICAFE* (Vol. 1, Issue 12, pp. 4–28). <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/674>
- Tucto Y. M. A. Urgiles G. N. J (2023). *Evaluación de formulaciones de consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de plántulas de café (Coffea sp) en condiciones controladas*. Universidad Nacional de Loja.
- Uc-Ku, A. G., Arreola-Enríquez, J., Carrillo-Avila, E., Osnaya-González, M. M., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Landeros-Sánchez, C., Uc-Ku, A. G., Arreola-Enríquez, J., Carrillo-Avila, E., Osnaya-González, M. M., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., & Landeros-Sánchez, C. (2019). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de *Heliconia stricta*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1057-1069. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1608>
- Universidad Nacional Autónoma de México, & Camarena-Gutiérrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVIII(3), 409-421. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
- USDA Soil Taxonomy. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. In *Mdp.Edu.Ar*. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*.
- Valarezo M, C. (2011). *Física de Suelos. Manejo de la Palma Aceitera* (Quito (ed.)). Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Valarezo M., L., & Villamagua, M. (2003). *Proyecto de identificación y selección de cultivos comercialmente promisorios para la producción bajo invernadero en la provincia de Loja. Programa de modernización de los servicios agropecuarios (PROMSA)*.
- Valarezo Manosalvas, C. (2000). Caracterización de los suelos, los ecosistemas y las cuencas hidrográficas (p. 223). CARAMEN.
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la region sur del Ecuador*.
- Valencia, J. C., Erazo, D., Legarda Burbano, L., & Ruiz Eraso, M. H. (2002). Determinación de la cantidad de agua aprovechable en algunos cultivos de clima medio, mediante el sistema riego por exudación. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 19(1-2), 11-22.
- Wu, Y., Li, W., Liu, P., Bai, H., Wang, Q., He, J., Liu, Y., & Sun, S. (2016). Application of analytic hierarchy process model for landslide susceptibility mapping in the Gangu County, Gansu Province, China. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 422. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5194-9>.

11. Anexos

Anexo 1.

Toma de muestras, para determinar la densidad aparente.



Anexo 2.

Resultados de las propiedades hidrofísicas.

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOLÓGICO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 140 y Eloy Alfaro, Oranja del MADAP, Tumbaco - Quito Telef.: 023828800 Ext. 3080	PGT/SFA/09-F001
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5 Hoja 1 de 1

Informe N°: UN-ISA-023-0888
 Fecha emisión Informe: 28/06/2022

DATOS DEL CUENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Alexis Gabriel Cañar Morocho

Dirección²: Cdda. Julio Ordóñez

Provincia³: Loja

Cantón⁴: Loja

Teléfono⁵: 0969777603

Correo Electrónico⁶: alexis.g.canar@unl.edu.ec

N° Orden de Trabajo: 11-2022-225

N° Factura/Documento: 012-001-1379

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra ¹ : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo ² : Café		
Provincia ³ : Loja	Coordenadas ⁴ :	X: ---
Cantón ⁵ : Loja		Y: ---
Parroquia ⁶ : Punzara		Altitud: ---
Muestreado por ⁷ : Alexis Cañar		
Fecha de muestreo ⁸ : 14-05-2022	Fecha de inicio de análisis: 15-06-2022	
Fecha de recepción de la muestra: 15-06-2022	Fecha de finalización de análisis: 28-06-2022	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-1058	Miguel Villamagua M01 Hz Ap.	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	28,55
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	27,31
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	14,84
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	12,47

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-1059	Miguel Villamagua M02 Hz Ap.	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	21,43
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	21,16
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	11,50
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	9,66

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-1060	Miguel Villamagua M03 Hz Ap.	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	28,39
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	27,18
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	14,77
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	12,41

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E22-1955
 Fecha emisión Informe: 01/12/2022

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: July Obaco
Dirección¹: San Sebastián **Teléfono¹:** 0982768264
Provincia¹: ---- **Cantón¹:** ---- **Correo Electrónico¹:** july.obaco@unl.edu.ec
N° Orden de Trabajo: 11-22-400
N° Factura/Documento: 012-001-1534

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo¹: Café		
Provincia¹: Loja	Coordenadas¹:	X: ----
Cantón¹: Loja		Y: ----
Parroquia¹: San Sebastián		Altitud: ----
Muestreado por¹: July Obaco		
Fecha de muestreo¹: 22-10-2022	Fecha de inicio de análisis: 18-11-2022	
Fecha de recepción de la muestra: 18-11-2022	Fecha de finalización de análisis: 01-12-2022	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2302	B1T1	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	32,13
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	30,42
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	16,53
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	13,89

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2303	B1T2	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,93
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,51
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,49
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	13,02

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2304	B1T3	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	30,26
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,79
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,65
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	13,14

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2305	B1T4	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,10
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,79
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,10
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,69

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2306	B1T5	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,22
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,03
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	14,69
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,34

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2307	B1T6	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,90
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,49
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,48
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	13,00

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2308	B1T7	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,75
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,49
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	14,94
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,55

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2309	B1T8	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,82
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,41
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,44
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,97

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2310	B1T9	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	30,03
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,59
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,54
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	13,05

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2311	B1T10	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,35
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,01
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,22
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,78

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2312	B1T11	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,23
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,04
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	14,69
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,34

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2313	B1T12	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,49
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	28,13
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,29
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,84

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2314	B1T13	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	27,79
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	26,66
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	14,49
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	12,17

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2315	B1T14	Humedad Equivalente	Centrífuga PEE/SFA/21	%	30,53
		Capacidad de Campo	Centrífuga PEE/SFA/21	%	29,03
		Punto de Marchitez	Centrífuga PEE/SFA/21	%	15,78
		Agua Aprovechable	Centrífuga PEE/SFA/21	%	13,25

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

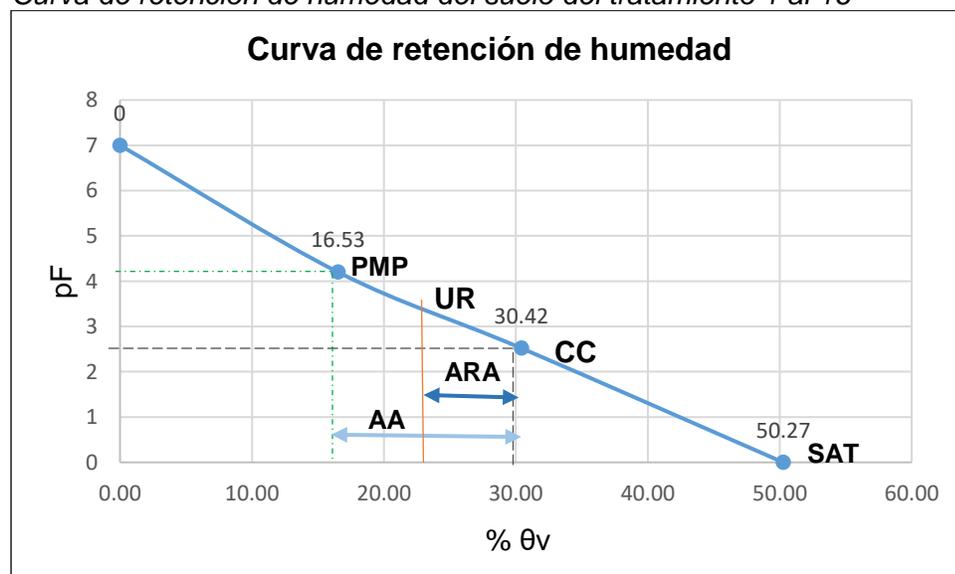
CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2316	B1T15	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	29,17
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	27,85
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	15,14
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	12,71

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

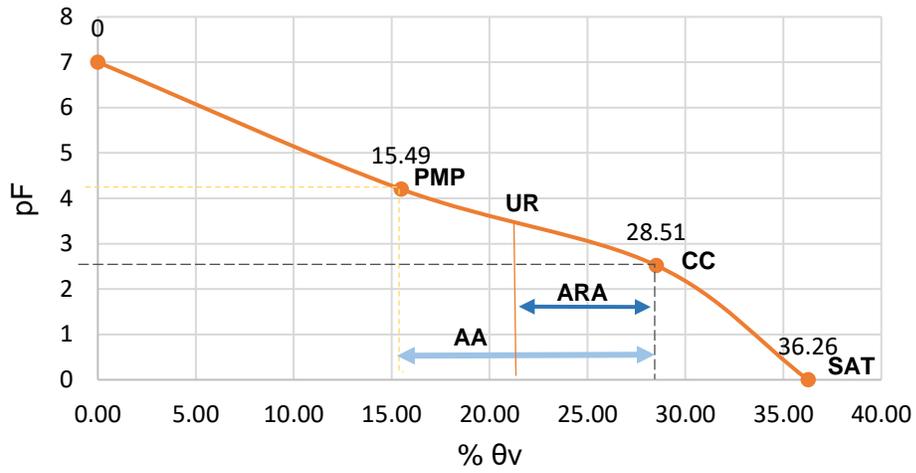
CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-22-2317	B1T16	Humedad Equivalente	Centrifuga PEE/SFA/21	%	27,54
		Capacidad de Campo	Centrifuga PEE/SFA/21	%	26,44
		Punto de Marchitez	Centrifuga PEE/SFA/21	%	14,37
		Agua Aprovechable	Centrifuga PEE/SFA/21	%	12,07

Anexo 3.

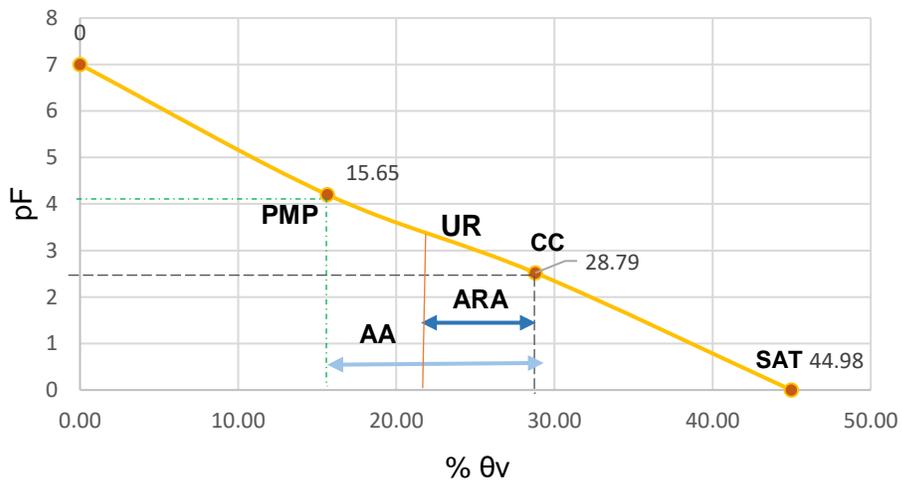
Curva de retención de humedad del suelo del tratamiento 1 al 16

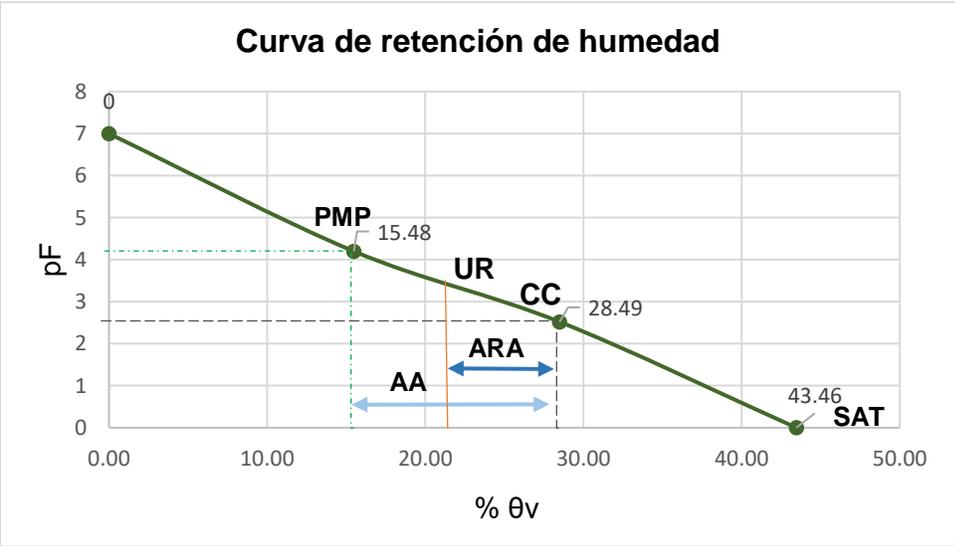
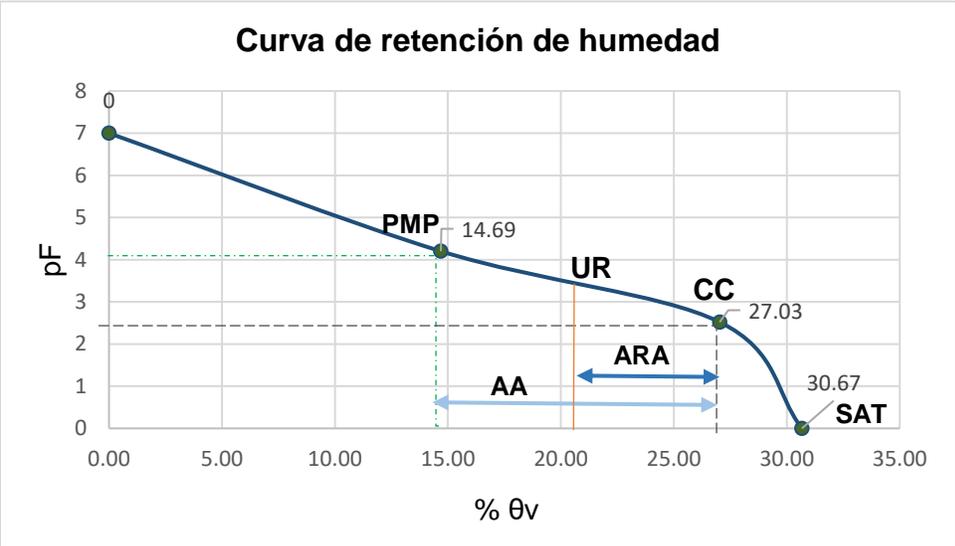
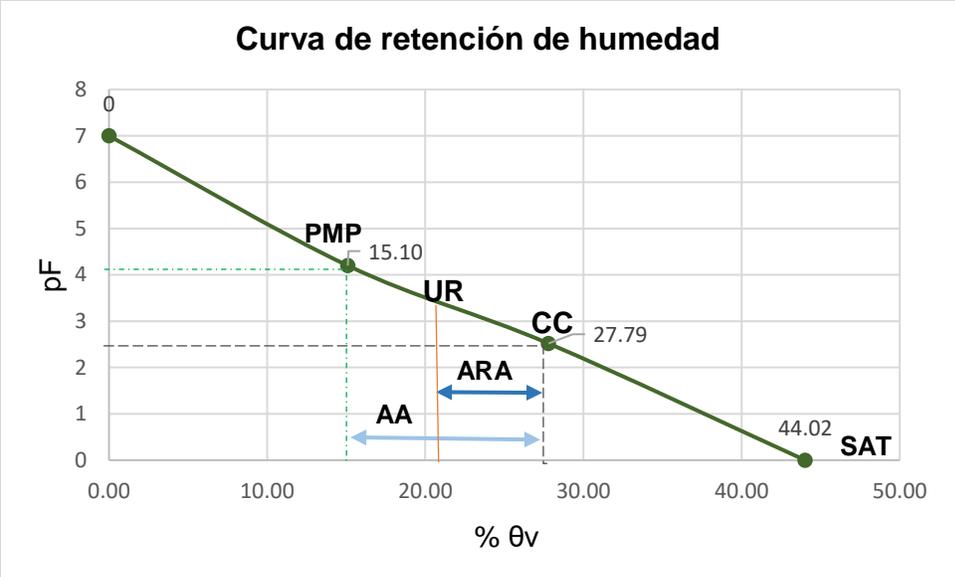


Curva de retención de humedad

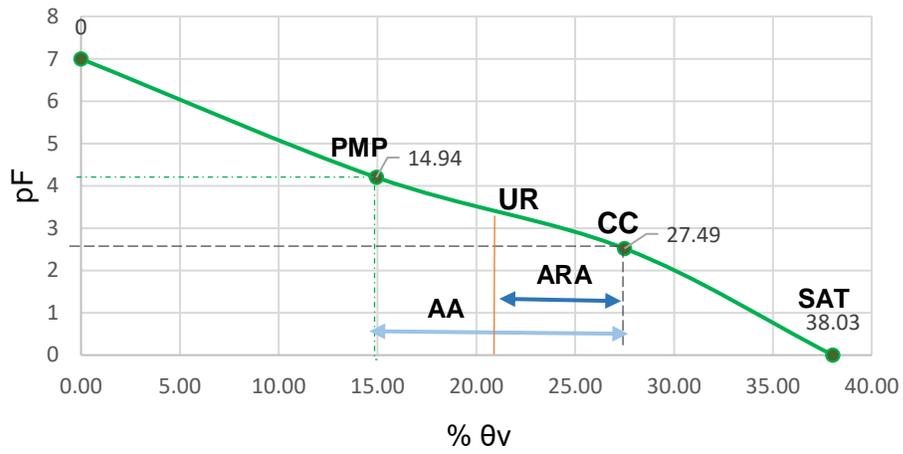


Curva de retención de humedad

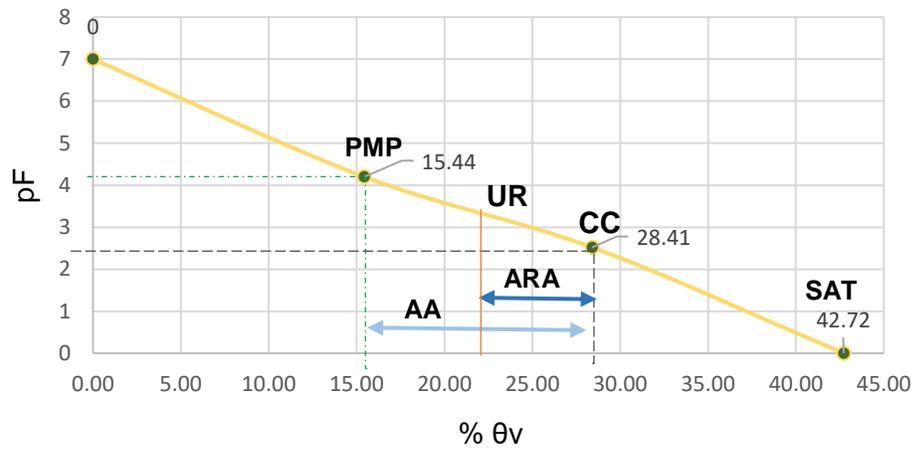


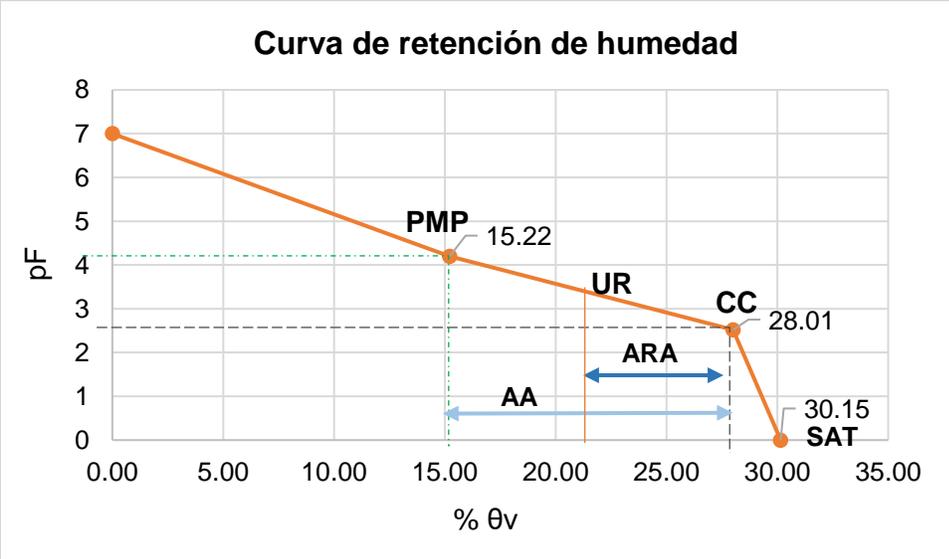
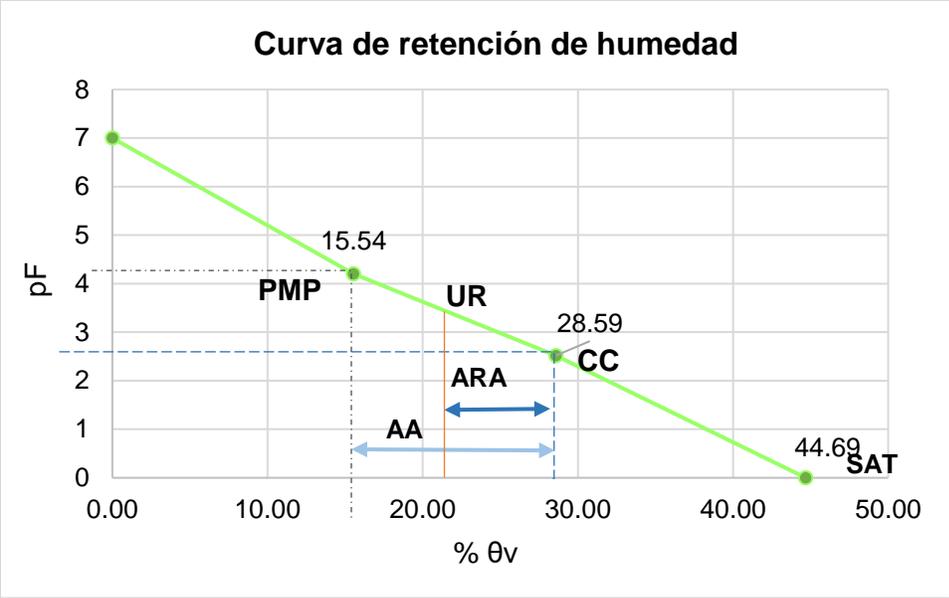


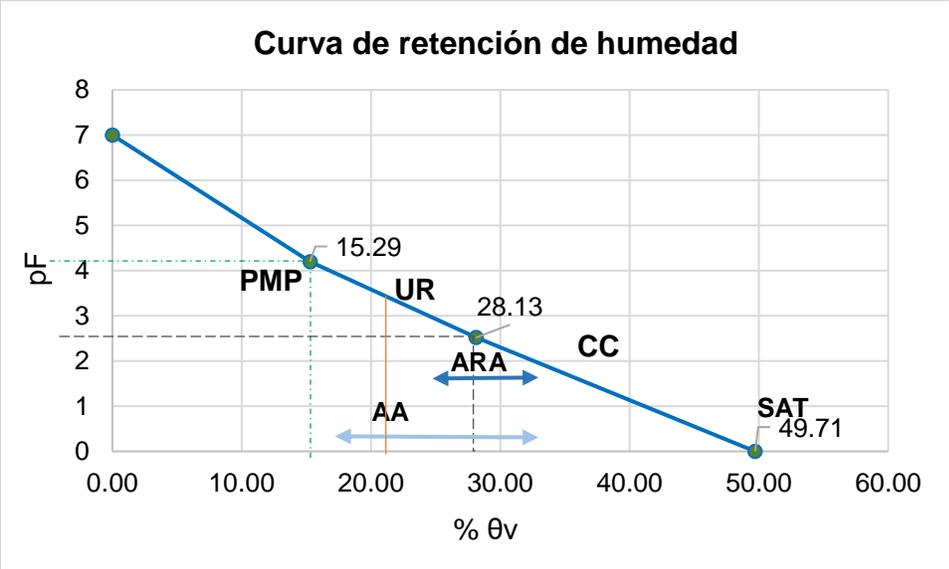
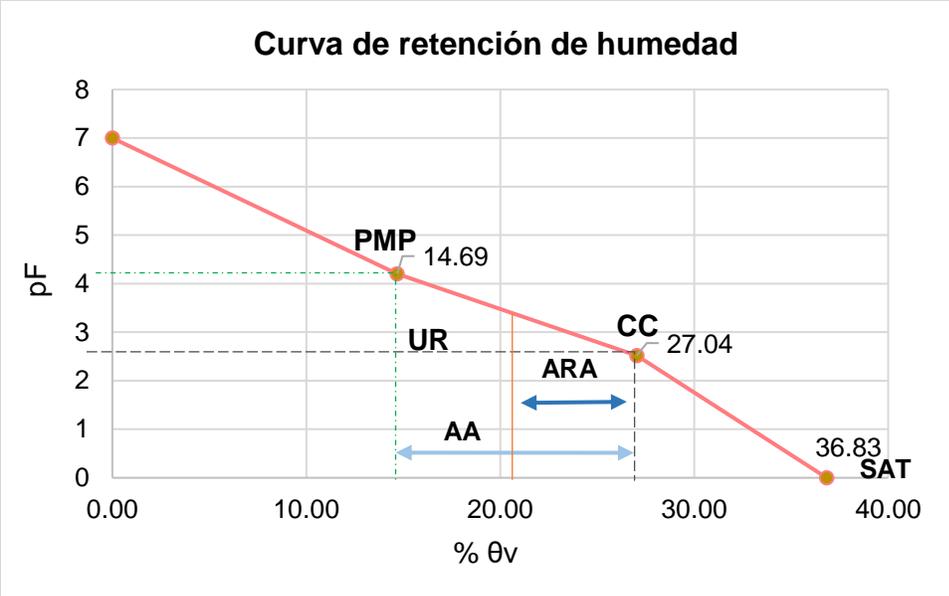
Curva de retención de humedad

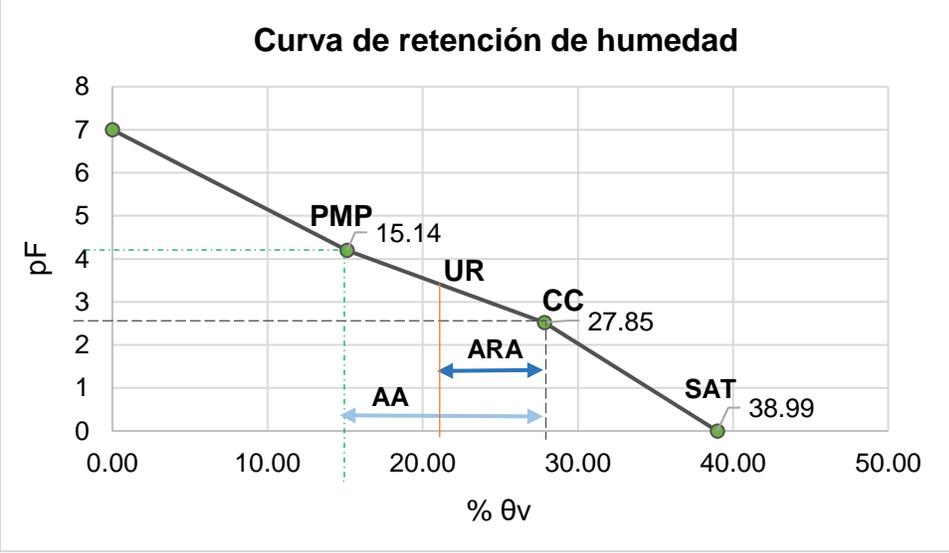
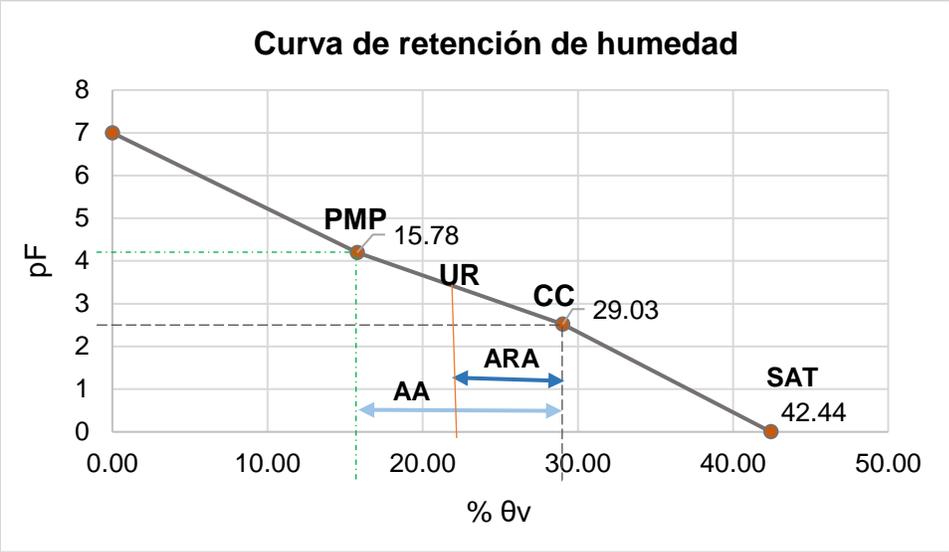
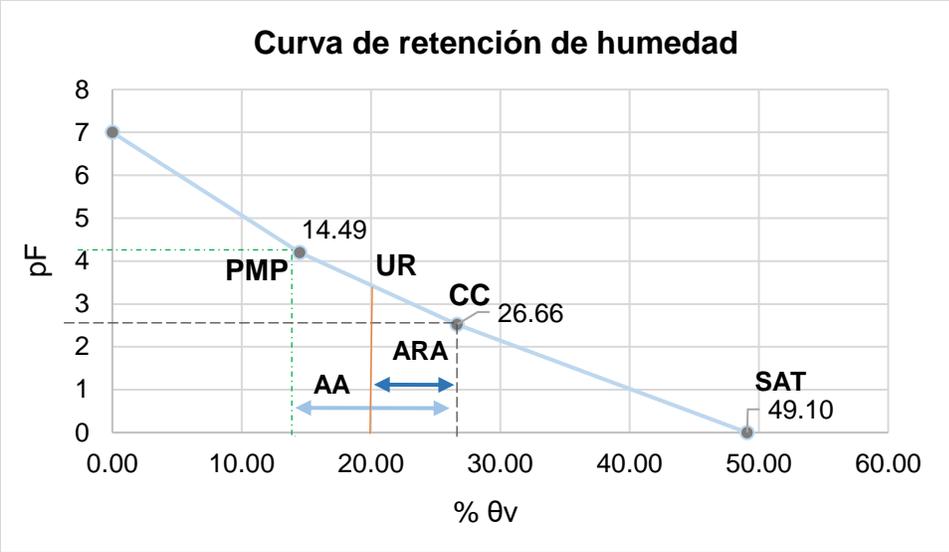


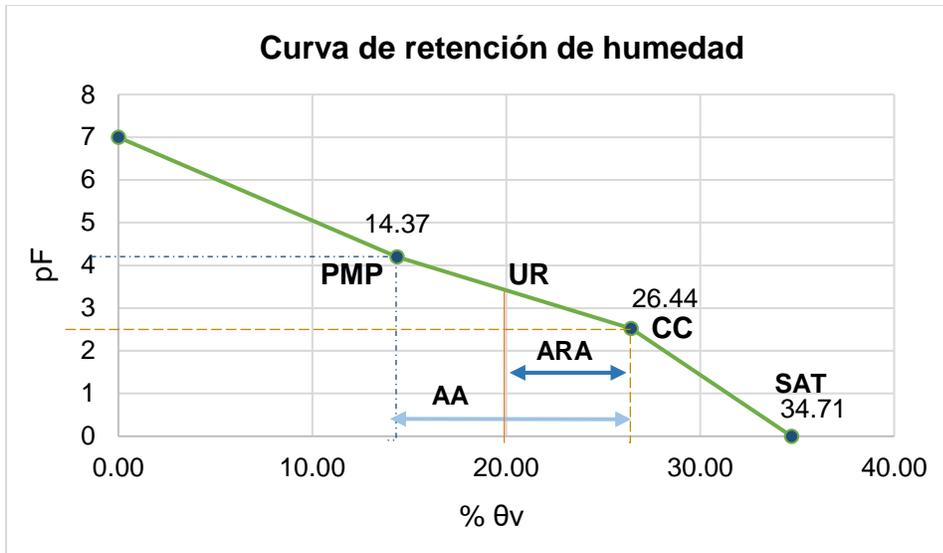
Curva de retención de humedad





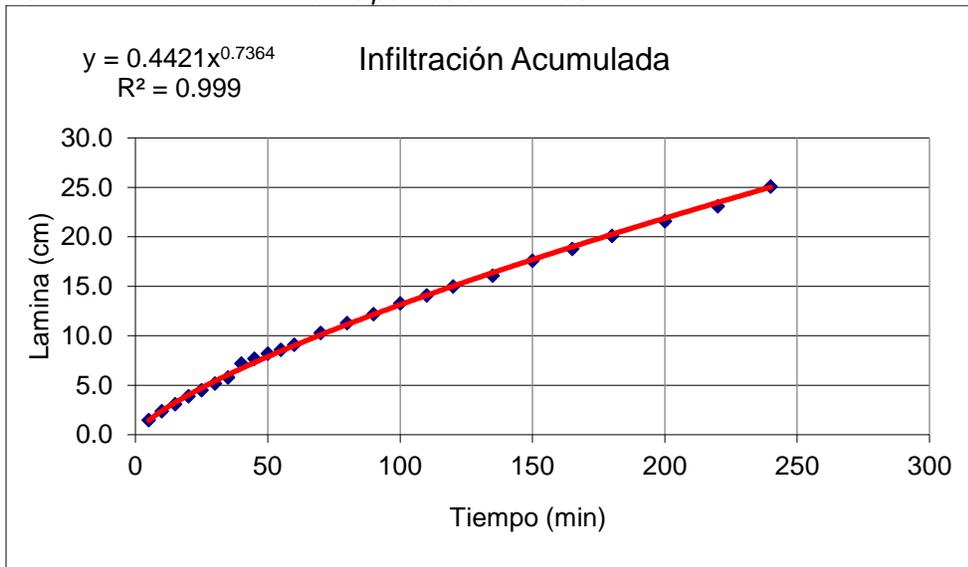


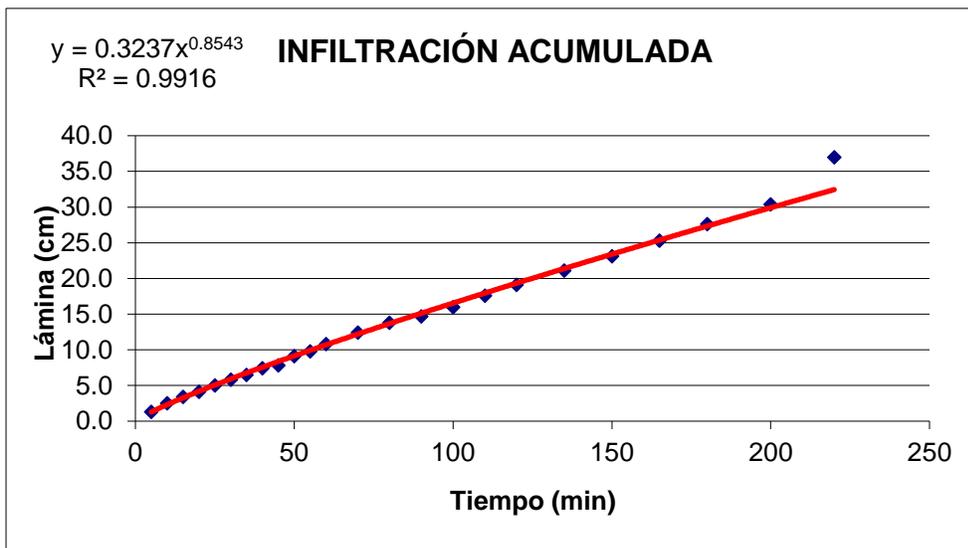
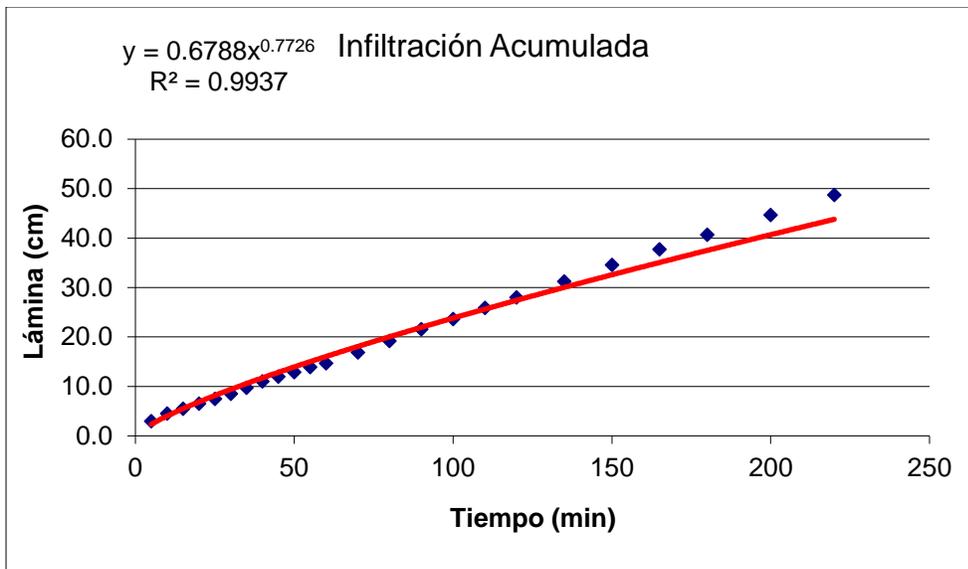




Anexo 4.

Velocidad de infiltración de los perfiles uno al tres

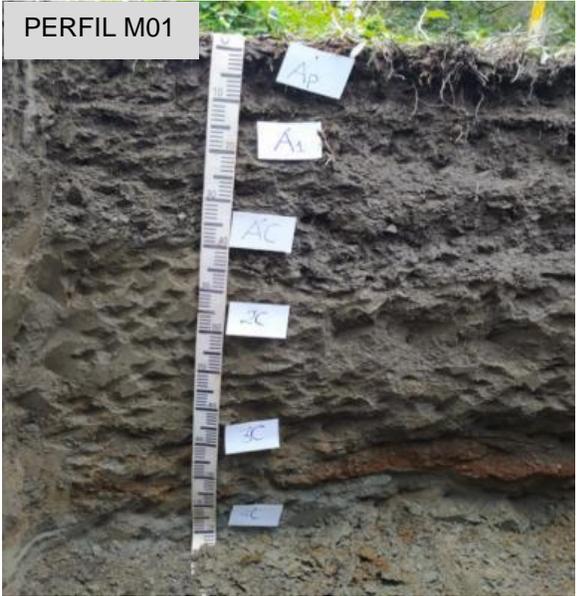




Anexo 5.

Descripción general de los tres perfiles de suelo en la Quinta experimental la “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, sector los Molinos, 2023.

DESCRIPCIÓN GENERAL PERFIL MOLINOS 1					
Fecha	2022/05/04	Código	M ₀₃	Autores	Ing. Fernanda Livisaca July Obaco
Coordenadas	17M 711 540 E		9 459 180 N		
Altitud	2 137 m.s.n.m.				
Localización Geográfica	Ubicación				Loja
	Sitio				Los Molinos
	Nombre del propietario				Quinta Experimental la Argelia UNL.
	Nombre de la finca				
Pendiente	3 %				

Paisaje	base (plano)		Tipo de relieve	Terraza coluvio-aluvial
Forma del terreno	Pendiente baja			
Uso actual o cobertura vegetal	Alisos (<i>Alnus glutinosa</i>), canutillo (<i>Commelina diffusa</i>), lengua de vaca (<i>Dracaena trifasciata</i>), planta trepadora (<i>thunbergia alota</i>).			
Condiciones de humedad	Húmedo		Pedregosidad superficial	
Afloramientos rocosos	<u>No</u> %	Tipo	No	Material parental Bloques de rocas metamórficas y volcánicas
Profundidad de la capa freática	Profundidad No cm		Fluctuación	Nº 0 cm
Presencia de Sales o Álcalis	Libre		Drenaje	Muy pobre
Clasificación Taxonómica: Oxyaquic Udifluvents				
<p>Suelo joven, muy profundo (120 cm) compuesto por dos depósitos bien diferenciados, el primer depósito se encuentra conformado por tres horizontes, el primero corresponde a un Ap que se extiende desde los 0 cm hasta los 10 cm, con una textura FoAo y coloración oscura; El segundo horizonte A1 que se extiende de 10cm hasta los 25 cm, de textura FoAcLo; El tercer horizonte AC va desde los 25 cm hasta los 40 cm, de coloración clara, textura FoAo y material aluvio-coluvial. El segundo depósito se forma por el horizonte 2C que va desde los 40 cm hasta los 70 cm, de coloración mucho clara de textura FoAo; El quinto horizonte 3C de 20 cm y el sexto horizonte 4C de 30 cm de espesor, ambos de textura AoFo y de coloración clara.</p>			 <p>PERFIL M01</p>	

Anexo 6. pH por tratamiento

CÓDIGO CAMPO	pH	INTERPRETACIÓN
B1T1	5.5	Ácido
B1T2	5.1	Ácido
B1T3	5.7	Ligeramente ácido
B1T4	5.3	Ácido
B1T5	5.1	Ácido

B1T6	6.1	Ligeramente ácido
B1T7	6.4	Ligeramente ácido
B1T8	6.6	Prácticamente Neutro
B1T9	5.3	Ácido
B1T10	5.8	Ligeramente ácido
B1T11	5.2	Ácido
B1T12	4.9	Ácido
B1T13	6.7	Prácticamente Neutro
B1T14	5.1	Ácido
B1T15	5.2	Ácido
B1T16	5.7	Ligeramente ácido
B2T1	4.9	Ácido
B2T2	5.5	Ácido
B2T3	5.7	Ligeramente ácido
B2T4	4.9	Ácido
B2T5	4.5	Ácido
B2T6	5	Ácido
B2T7	6	Ligeramente ácido
B2T8	5	Ácido
B2T9	5	Ácido
B2T10	5	Ácido
B2T11	5	Ácido
B2T12	5	Ácido
B2T13	6	Ligeramente ácido
B2T14	4	Ácido
B2T15	5	Ácido
B2T16	5	Ácido
B3T1	5	Ácido
B3T2	4	Ácido
B3T3	5	Ácido
B3T4	6	Ácido
B3T5	5	Ácido
B3T6	5	Ácido
B3T7	5	Ácido
B3T8	5	Ácido
B3T9	5	Ácido
B3T10	5	Ácido

B3T11	4	Ácido
B3T12	5	Ácido
B3T13	5	Ácido
B3T14	5	Ácido
B3T15	5	Ácido
B3T16	5	Ácido

Anexo 7.

Aplicación de hongos micorrízicos en planta de café.



Anexo 8.

Dosificación de Nutrisano



Anexo 9.
Trasplante de cafeto



Anexo 10.
Análisis de varianza de altura de planta, Sector los Molinos 2023.

Análisis de la varianza AT 90

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AT 90	48	0,32	0,00	4,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	23,72	17	1,40	0,84	0,6411
Abono	7,70	3	2,57	1,54	0,2236
HMA	1,99	3	0,66	0,40	0,7548
Bloque	2,66	2	1,33	0,80	0,4587
Abono*HMA	11,37	9	1,26	0,76	0,6534
Error	49,91	30	1,66		
Total	73,63	47			

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 1,6635 gl: 30

Abono	Medias	n	E.E.
10,00	29,27	12	0,37 A
8,00	29,78	12	0,37 A
6,00	29,91	12	0,37 A
0,00	30,39	12	0,37 A

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

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 1.6635 gl: 30

HMA	Medias	n	E.E.
20,00	29,52	12	0,37 A
10,00	29,86	12	0,37 A
30,00	29,88	12	0,37 A
0,00	30,08	12	0,37 A

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

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 1.6635 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	29,51	16	0,32 A
1,00	29,96	16	0,32 A
3,00	30,04	16	0,32 A

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

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 1,6635 gl: 30

Abono	HMA	Medias	n	E.E.
10,00	10,00	28,77	3	0,74 A
6,00	30,00	28,80	3	0,74 A
10,00	20,00	28,90	3	0,74 A
8,00	10,00	29,37	3	0,74 A
8,00	0,00	29,53	3	0,74 A
10,00	30,00	29,63	3	0,74 A
8,00	20,00	29,67	3	0,74 A
6,00	20,00	29,73	3	0,74 A
10,00	0,00	29,77	3	0,74 A
0,00	20,00	29,77	3	0,74 A
6,00	0,00	30,23	3	0,74 A
0,00	10,00	30,43	3	0,74 A
8,00	30,00	30,53	3	0,74 A
0,00	30,00	30,57	3	0,74 A
0,00	0,00	30,80	3	0,74 A
6,00	10,00	30,87	3	0,74 A

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

Anexo 11.

Análisis de varianza del incremento de altura de planta, Sector los Molinos 2023.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Incremento	48	0,61	0,40	19,99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	33,51	17	1,97	2,82	0,0064
Abono	6,40	3	2,13	3,05	0,0438
HMA	4,54	3	1,51	2,16	0,1129
Bloque	17,93	2	8,97	12,81	0,0001
Abono*HMA	4,63	9	0,51	0,73	0,6742
Error	20,99	30	0,70		
Total	54,50	47			

Test: Tukey Alfa=0.05

Error: 0.6998 gl: 30

Abono	Medias	n	E.E.
10,00	4,77	12	0,24 B
8,00	4,23	12	0,24 A
6,00	3,85	12	0,24 A
0,00	3,90	12	0,24 A

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

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 0,6998 gl: 30

HMA	Medias	n	E.E.
0,00	3,73	12	0,24 A
10,00	4,18	12	0,24 AB
30,00	4,23	12	0,24 AB
20,00	4,60	12	0,24 B

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

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0.6998 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.
2,00	3,59	16	0,21 A
3,00	3,94	16	0,21 A
1,00	5,03	16	0,21 B

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,6998 gl: 30

Abono	HMA	Medias	n	E.E.
6,00	0,00	3,27	3	0,48 A
0,00	0,00	3,50	3	0,48 A
0,00	20,00	3,63	3	0,48 A
6,00	10,00	3,73	3	0,48 A
8,00	0,00	3,73	3	0,48 A
6,00	30,00	3,80	3	0,48 A
8,00	10,00	3,87	3	0,48 A
0,00	30,00	3,90	3	0,48 A B
10,00	0,00	4,43	3	0,48 A B
10,00	10,00	4,53	3	0,48 A B
0,00	10,00	4,57	3	0,48 A B
6,00	20,00	4,60	3	0,48 A B
10,00	30,00	4,60	3	0,48 A B
8,00	30,00	4,63	3	0,48 A B
8,00	20,00	4,67	3	0,48 A B
10,00	20,00	5,50	3	0,48 B

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

Anexo 12.

Análisis de varianza número de hojas, Sector los Molinos 2023.

Análisis de la varianza AT 90

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
AT 90	48	0,51	0,23	6,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	22,86	17	1,34	1,84	0,0704
Abono	0,94	3	0,31	0,43	0,7336
HMA	1,39	3	0,46	0,63	0,5994
Bloque	13,98	2	6,99	9,56	0,0006
Abono*HMA	6,55	9	0,73	1,00	0,4644
Error	21,94	30	0,73		
Total	44,80	47			

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,7313 gl: 30

Abono Medias n E.E.

10,00	14,10	12	0,25	A
0,00	14,10	12	0,25	A
8,00	14,29	12	0,25	A
6,00	14,44	12	0,25	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,7313 gl: 30

HMA Medias n E.E.

20,00	14,04	12	0,25	A
10,00	14,15	12	0,25	A
30,00	14,25	12	0,25	A
0,00	14,50	12	0,25	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0,7313 gl: 30

Bloque Medias n E.E.

1,00	13,50	16	0,21	A
2,00	14,42	16	0,21	B
3,00	14,78	16	0,21	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,7313 gl: 30

Abono HMA Medias n E.E.

10,00	20,00	13,17	3	0,49	A
-------	-------	-------	---	------	---

0,00	10,00	13,75	3	0,49	A	B
0,00	0,00	13,83	3	0,49	A	B
8,00	30,00	14,00	3	0,49	A	B
6,00	30,00	14,17	3	0,49	A	B
6,00	20,00	14,17	3	0,49	A	B
6,00	10,00	14,17	3	0,49	A	B
8,00	10,00	14,25	3	0,49	A	B
0,00	30,00	14,33	3	0,49	A	B
10,00	0,00	14,33	3	0,49	A	B
8,00	20,00	14,33	3	0,49	A	B
10,00	10,00	14,42	3	0,49	A	B
10,00	20,00	14,50	3	0,49	A	B
0,00	20,00	14,50	3	0,49	A	B
8,00	0,00	14,58	3	0,49	A	B
6,00	0,00	15,25	3	0,49	B	

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

Anexo 13.

Análisis de varianza del incremento de números de hojas (0-90 días), Sector los Molinos 2023.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
incremento	48	0,53	0,27	19,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14,38	17	0,85	2,00	0,0466
Abono	1,58	3	0,53	1,25	0,3105
HMA	0,67	3	0,22	0,53	0,6652
Bloque	7,47	2	3,74	8,86	0,0009
Abono*HMA	4,66	9	0,52	1,23	0,3160
Error	12,65	30	0,42		
Total	27,03	47			

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 0,4218 gl: 30

Abono Medias n E.E.

10,00	3,06	12	0,19	A
0,00	3,17	12	0,19	A
8,00	3,33	12	0,19	A
6,00	3,54	12	0,19	A

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

Test: Tukey Alfa=0.05

Error: 0,4218 gl: 30

HMA	Medias	n	E.E.	
10,00	3,10	12	0,19	A
0,00	3,23	12	0,19	A
30,00	3,38	12	0,19	A
20,00	3,40	12	0,19	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0.4218 gl: 30

Bloque Medias n E.E.

1,00	2,72	16	0,16	A
2,00	3,53	16	0,16	B
3,00	3,58	16	0,16	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,4218 gl: 30

Abono HMA Medias n E.E.

0,00	0,00	2,58	3	0,37	A
10,00	20,00	2,67	3	0,37	A B
0,00	10,00	2,75	3	0,37	A B
10,00	10,00	3,00	3	0,37	A B
10,00	0,00	3,08	3	0,37	A B
8,00	30,00	3,17	3	0,37	A B
6,00	10,00	3,25	3	0,37	A B
8,00	0,00	3,33	3	0,37	A B
6,00	30,00	3,42	3	0,37	A B
0,00	30,00	3,42	3	0,37	A B
8,00	20,00	3,42	3	0,37	A B
8,00	10,00	3,42	3	0,37	A B
10,00	30,00	3,50	3	0,37	A B
6,00	20,00	3,58	3	0,37	A B
0,00	20,00	3,92	3	0,37	B
6,00	0,00	3,92	3	0,37	B

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

Anexo 14.

Análisis de varianza diámetro del tallo de 90, Sector los Molinos 2023.

Variable N R² R² Aj CV

AT 90 48 0,35 0,00 6,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,68	17	0,10	0,97	0,5112
Abono	0,13	3	0,04	0,41	0,7441
HMA	0,34	3	0,11	1,11	0,3621
Bloque	0,09	2	0,04	0,42	0,6582
Abono*HMA	1,13	9	0,13	1,23	0,3127
Error	3,05	30	0,10		
Total	4,73	47			

Test:Tukey Alfa=0,5

Error: 0,1018 gl: 30

Abono Medias n E.E.

10,00	4,70	12	0,09	A
6,00	4,77	12	0,09	A
8,00	4,81	12	0,09	A
0,00	4,84	12	0,09	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,1018 gl: 30

HMA Medias n E.E.

30,00	4,70	12	0,09	A
0,00	4,71	12	0,09	A
20,00	4,80	12	0,09	A
10,00	4,91	12	0,09	A

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

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0,1018 gl: 30

Bloque Medias n E.E.

3,00	4,72	16	0,08	A
2,00	4,79	16	0,08	A
1,00	4,83	16	0,08	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,1018 gl: 30

Abono	HMA	Medias	n	E.E.
6,00	30,00	4,29	3	0,18 A
8,00	0,00	4,55	3	0,18 A B
10,00	20,00	4,65	3	0,18 A B
10,00	30,00	4,68	3	0,18 A B
10,00	10,00	4,74	3	0,18 A B
10,00	0,00	4,74	3	0,18 A B
0,00	0,00	4,78	3	0,18 A B
6,00	0,00	4,79	3	0,18 A B
0,00	10,00	4,79	3	0,18 A B
8,00	20,00	4,83	3	0,18 A B
0,00	20,00	4,85	3	0,18 A B
6,00	20,00	4,87	3	0,18 A B
8,00	30,00	4,90	3	0,18 A B
0,00	30,00	4,92	3	0,18 A B
8,00	10,00	4,97	3	0,18 B
6,00	10,00	5,13	3	0,18 B

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

Anexo 15.

Análisis de varianza del incremento del diámetro del tallo (0-90 días), Sector los Molinos 2023.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Incremento	48	0,43	0,10	26,17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,73	17	0,10	1,31	0,2503
Abono	0,10	3	0,03	0,43	0,7321
HMA	0,33	3	0,11	1,44	0,2520
Bloque	0,47	2	0,23	3,03	0,0633
Abono*HMA	0,83	9	0,09	1,18	0,3404
Error	2,32	30	0,08		
Total	4,05	47			

Test: Tukey Alfa=0,05

Error: 0,0774 gl: 30

Abono	Medias	n	E.E.
0,00	1,01	12	0,08 A
8,00	1,02	12	0,08 A

6,00 1,10 12 0,08 A
 10,00 1,11 12 0,08 A

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

Test:Tukey Alfa=0.05

Error: 0.0774 gl: 30

HMA	Medias	n	E.E.	
30,00	0,93	12	0,08	A
0,00	1,06	12	0,08	A
20,00	1,10	12	0,08	A
10,00	1,16	12	0,08	A

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,0774 gl: 30

Bloque	Medias	n	E.E.	
3,00	0,93	16	0,07	A
2,00	1,10	16	0,07	A B
1,00	1,16	16	0,07	B

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

Test:Tukey Alfa=0,05

Error: 0,0774 gl: 30

Abono	HMA	Medias	n	E.E.	
0,00	30,00	0,78	3	0,16	A
6,00	30,00	0,84	3	0,16	A B
8,00	0,00	0,88	3	0,16	A B
10,00	20,00	0,94	3	0,16	A B
6,00	0,00	0,97	3	0,16	A B
8,00	30,00	0,98	3	0,16	A B
8,00	20,00	1,01	3	0,16	A B
10,00	10,00	1,05	3	0,16	A B
0,00	0,00	1,06	3	0,16	A B
0,00	20,00	1,09	3	0,16	A B
0,00	10,00	1,12	3	0,16	A B
10,00	30,00	1,13	3	0,16	A B
8,00	10,00	1,22	3	0,16	A B
6,00	10,00	1,26	3	0,16	A B
10,00	0,00	1,34	3	0,16	B
6,00	20,00	1,34	3	0,16	B

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

Anexo 16

Tríptico del proyecto de investigación, Sector los Molinos 2023.

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es uno de los pocos países en el mundo que exporta grandes cantidades de café de las variedades arábigo y robusta. Este sector productivo emplea a unos 200 000 ecuatorianos y aporta alrededor del 3 % del PIB. Su producción se da en 23 de las 24 provincias, en 2018 se sembraron 61 254 ha de café en el país, con una producción de 28 543 t, equivalente a 0,47 t.h⁻¹ (Castro Pincay & Barrenzuela Unda, 2020).

Para el año 2019 el cultivo de café en Ecuador tiene una extensión de 76 785 ha, de las cuales a la provincia de Loja le corresponden 7 457 ha equivalente a 9,1 % del área total y presenta un rendimiento de 0,24 t/ha (Lema, 2019).

Villamagua et al. (2021) mencionan que el bajo rendimiento de café en la provincia de Loja se explica, principalmente, por la baja fertilidad y capacidad de aireación de los suelos (5-8,5 %) producto de la compactación y el bajo contenido de materia orgánica (2 %).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Generar información científico-técnica sobre el mejoramiento de la macroporosidad del suelo, a través del uso de enmiendas orgánicas y consorcios de hongos micorrízicos nativos, en la perspectiva de elevar el crecimiento inicial del cafeto en la Quinta experimental La Argelia.

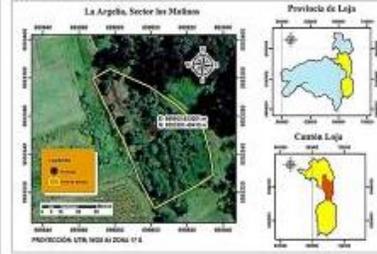
2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar físicamente los suelos de la Quinta experimental La Argelia.
- Monitorear el desarrollo vegetativo del cultivo de cafeto frente a la aplicación de diferentes dosis de enmiendas orgánicas y consorcios de HMA nativos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del ensayo

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto de investigación, Estación Experimental La Argelia.



Coordenadas Planas UTM zona 17S:

Norte: 9 533 351 m

Este: 699 900 m

Altitud: 2130 m.s.n.m.

3.2. Evaluar físicamente los suelos

3.3. Plantación del cultivo

Tabla 1.

Dosis aplicadas por tratamiento (kg de Nutrisano).

Tratamiento	Hoja 1	Hoja 2	Hoja 3
AO_0yHMA_0			
AO_0yHMA_20	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_40	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_60	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_80	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_100	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_120	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_140	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_160	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_180	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_200	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_220	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_240	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_260	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_280	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_300	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_320	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_340	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_360	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_380	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_400	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_420	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_440	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_460	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_480	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_500	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_520	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_540	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_560	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_580	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_600	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_620	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_640	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_660	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_680	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_700	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_720	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_740	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_760	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_780	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_800	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_820	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_840	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_860	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_880	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_900	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_920	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_940	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_960	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_980	2,14	13,16	1,88
AO_0yHMA_1000	2,14	13,16	1,88

3.4. Variables Dasométricas

Variables: altura de la planta (cm) y diámetro del tallo (mm).

Figura 2.

Medición de diámetro de tallo y altura de la planta.

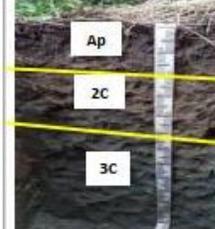


4. RESULTADOS

4.1. Descripción de perfiles

Figura 3.

Calicata.



. Suelo de origen aluvial

. Muy profundo

. Integrado por tres capas

(Ap) 0-25 cm, color marrón muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo, sin presencia de manchas; textura (FoLo), estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares.

(2C) 25-50 cm, color gris (Gley 1 4/10 Y) en húmedo; muchas manchas pequeñas y medias, textura al tacto (FoAc), estructura masiva.

(3C) 50-120 cm, color gris (Gley 1 4/10 Y), frecuentes manchas medianas, indistintas, textura (FoAcLo), estructura masiva.

4.2. Curva de retención de humedad

Figura 4.

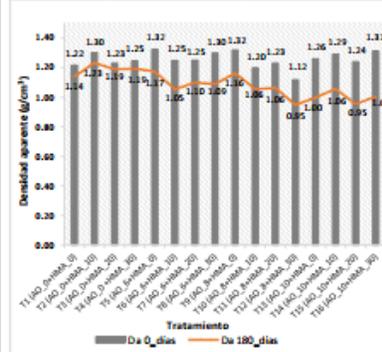
Curva de retención humedad.



4.3. Densidad Aparente

Figura 5.

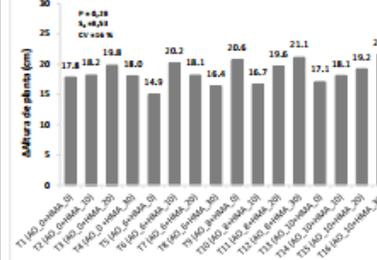
Valores de densidad aparente (g.cm⁻³), método del cilindro, a los 0 y 180 días después de iniciado el ensayo.



4.4. Variables Dasométricas

Figura 6.

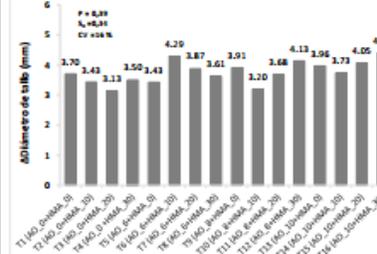
Incremento de altura de la planta a los 210 días después del trasplante.



Tratamiento	Regresión lineal (20 d a 210 d)	R ²	Regresión lineal (120 d a 210 d)	R ²
T0 (AO_0yHMA_0)	Δ Altura = 0,0320x + 27,30	0,98	Δ Altura = 0,1320x + 14,28	0,97
T06 (AO_20yHMA_20)	Δ Altura = 0,0520x + 26,23	0,98	Δ Altura = 0,1820x + 6,63	1,00

Figura 7.

Incremento del diámetro de tallo a los 210 días después del trasplante.



Tratamiento	Regresión lineal (0 d a 210 d)	R ²	Regresión lineal (120 d a 210 d)	R ²
T0 (AO_0yHMA_0)	Δ Diámetro tallo = 0,0120x + 3,76	1,00	Δ Diámetro tallo = 0,0220x + 2,72	0,94
T06 (AO_20yHMA_20)	Δ Diámetro tallo = 0,0120x + 3,60	0,98	Δ Diámetro tallo = 0,0220x + 0,30	0,99



Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos micorrízicos sobre la macroporosidad del suelo y el crecimiento inicial del cafeto (*Coffea Arabica* L.) en la Quinta Experimental La Argelia

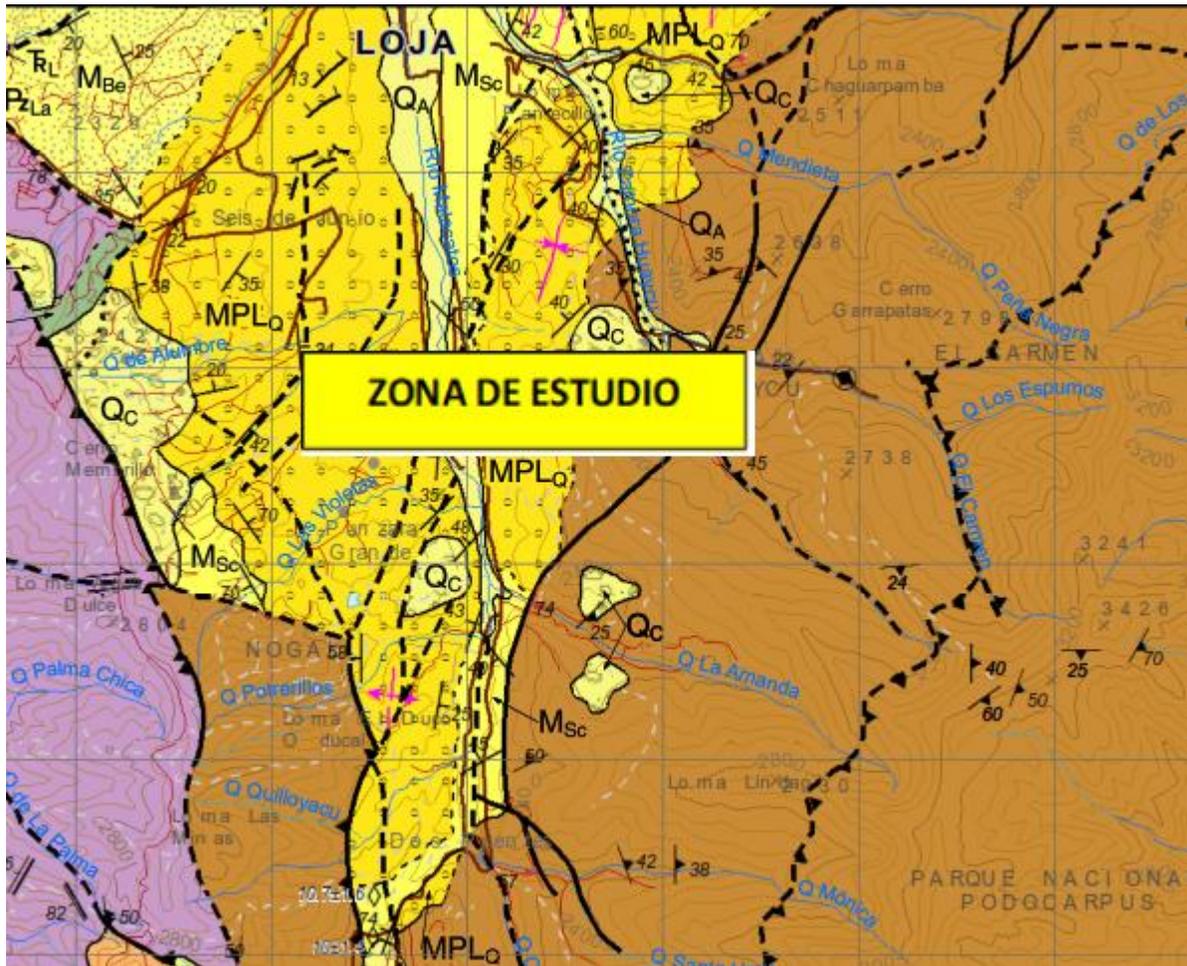


TESISTA:
July Obaco

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:
M.Sc. Miguel Ángel Villamagua
LOJA – ECUADOR

Anexo 17.

Carta geológica Gonzanamá



Anexo 18.

Traducción del Abstract

Loja, 21 de febrero del 2024

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Luis Eduardo Malla Medina, con número de cédula 1104351000 y
con título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención Inglés,
registrado en el SENESCYT con número 1008-15-1421369

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular o de titulación denominado "Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y hongos Micorrizicos sobre la evolución de la macro porosidad del suelo y el crecimiento de caféto (*Coffea-arabica* L.) en la Argelia provincia de Loja" de autoría de July Elizabeth Obaco Cajas, portadora de la cédula de identidad, número 1105685869, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



Lie. Luis Eduardo Malla Medina

C.I: 1104351000