

Universidad de El Salvador

Facultad de Ciencias Agronómicas

Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Gestión Integral de Sistemas Productivos Agroecológicos

Proceso de Grado



Caracterización de las propiedades físicas del suelo en una finca cafetalera con manejo agroecológico caso finca La Esperanza en el departamento de Santa Ana.

Rafael Antonio Rosales Pérez

Presentada como requisito para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo

Ciudad Universitaria, Noviembre 2021.

Esta investigación fue realizada bajo la dirección del comité de Investigación indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el Título de

Ingeniero Agrónomo

Comité de Tesina

Ing. M. Sc. José Mauricio Tejada Ascencio

Tutor de Tesina

Ing. M. Sc. Ph. D. Miguel Ángel Hernández Martínez

Co- Tutor de la Tesina

Ing. Agr. M. Sc. Carlos Alberto Aguirre Castro

Co- Tutor de la Tesina

Ing. M. Sc. José Mauricio Tejada Ascencio
Jefe Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Ing. Agr. M. Sc. Nelson Bernabé Granados
Coordinador de Procesos de Graduación
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

Dedicatoria

Principalmente para Dios y a María Santísima, que me dio la sabiduría, bendición y las fuerzas para lograr y realizar mi trabajo de investigación.

A mis padres María Eulalia Pérez Hernández y José Elías Rosales para ellos con amor, respeto y admiración, por el esfuerzo y apoyo incondicional que me han brindado, fue algo fundamental para poder culminar mi carrera.

A mis hermanos Manuel Rosales, Cesar Rosales y Rosario Rosales por su apoyo incondicional y palabras de aliento.

Agradecimientos

A Dios Nuestro padre y a la Virgen María:

Por regalarme el entendimiento y la sabiduría en los momentos que no encontraba salida en mi trabajo de investigación gracias por iluminarme en mi vida.

A los que laboran en el decanato Dr. Francisco Lara Ascencio, Ludwing Vladimir Leyton Barrientos.

A mi tutor Ing. M. Sc. José Mauricio Tejada Ascencio por ayudarme en todo el proceso de mi investigación sus aportes y consejos.

A mis co-tutores D. Ing. M. Sc. Ph. D. Miguel Ángel Hernández Martínez e Ing. M. Sc. Carlos Alberto Aguirre Castro por brindarme la ayuda en la investigación de mi proyecto.

Al personal docente y secretaria del departamento de recursos naturales y medio ambiente.

A don Rafael propietario de la finca cafetalera agroecología La Esperanza por haber aceptado que realizara mi trabajo de investigación en su propiedad.

Índice General

Paginas

| | |
|---|----|
| I. Introducción..... | 1 |
| II. Planteamiento del problema..... | 2 |
| III. Objetivos | 3 |
| 3.1. Objetivo general..... | 3 |
| 3.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| IV. Estado del arte | 4 |
| V. Revisión de literatura..... | 6 |
| 5.1. La condición óptima de suelo..... | 6 |
| 5.2. Propiedades físicas óptimas de cafetales agroecológicos..... | 6 |
| 5.3. Desde el punto de vista edáfico a un suelo se conoce como..... | 6 |
| 5.4. Las propiedades físicas de un suelo..... | 7 |
| 5.4.1. El suelo como un sistema complejo con tres fases bien diferenciadas..... | 7 |
| 5.4.2. Profundidad efectiva..... | 7 |
| 5.4.3. Humedad gravimétrica..... | 7 |
| 5.4.4. Capacidad de infiltración..... | 7 |
| 5.4.5. Textura..... | 8 |
| 5.4.5.1. Fracciones arena y limo..... | 8 |
| 5.4.5.2. Fracción arcilla..... | 8 |
| 5.4.5.3. Métodos para determinar la textura del suelo..... | 9 |
| 5.4.5.4. Granular..... | 10 |
| 5.4.5.5. Poliédrica..... | 10 |
| 5.4.5.6. Subpoliédrica..... | 10 |
| 5.4.5.7. Grumosa..... | 10 |
| 5.4.5.8. Columnar..... | 10 |
| 5.4.5.9. Laminar..... | 10 |
| 5.4.5.10. Masiva..... | 10 |
| 5.4.6. Grado..... | 10 |
| 5.4.6.1. Sin estructura..... | 10 |
| 5.4.6.2. Débil..... | 11 |
| 5.4.6.3. Moderado..... | 11 |
| 5.4.6.4. Fuerte..... | 11 |
| 5.4.7. Clase..... | 11 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 5.4.8. | Color del suelo. | 11 |
| 5.4.9. | Moteado de suelo. | 12 |
| 5.4.10. | Porosidad de un suelo (%). | 12 |
| 5.4.11. | Densidad. | 12 |
| 5.4.11.1. | Densidad aparente. | 13 |
| 5.4.11.2. | Densidad real. | 13 |
| 5.4.12. | Compactación del suelo. | 13 |
| 5.4.13. | Conductividad hidráulica del suelo. | 13 |
| VI. | Metodología. | 14 |
| 6.1. | Descripción del lugar de estudio. | 14 |
| 6.2. | Instrumentos, herramientas y equipo de la investigación. | 14 |
| 6.3. | Tipo de investigación | 15 |
| 6.4. | Elaboración del proyecto de investigación. | 15 |
| 6.5. | Selección del lugar. | 15 |
| 6.6. | Delimitación del área de la finca. | 16 |
| 6.7. | Metodología de campo. | 16 |
| 6.7.1 | .Profundidad efectiva en el suelo. | 16 |
| 6.7.2. | Capacidad de velocidad de infiltración de los suelos. | 17 |
| 6.7.3. | Moteado de suelo. | 18 |
| 6.7.4. | Compactación del suelo. | 19 |
| 6.7.5. | Conductividad hidráulica. | 20 |
| 6.8. | Metodología de laboratorio. | 22 |
| 6.8.1. | Textura por el método de bouyoucos. | 22 |
| 6.8.2. | Determinación del color de suelo. | 23 |
| 6.8.3. | Porosidad de un suelo. | 24 |
| 6.8.4. | Densidad aparente. | 24 |
| 6.8.5. | Densidad real. | 25 |
| VII. | Análisis de resultados. | 27 |
| 7.1. | Profundidad efectiva en suelos de la finca la esperanza. | 27 |
| 7.2. | Capacidad de velocidad de infiltración de los suelos de la finca la esperanza. | 27 |
| 7.2.1. | Infiltración de agua en el suelo parte baja de la finca la esperanza. | 27 |
| 7.2.2. | Infiltración de agua en el suelo parte alta de la finca la esperanza. | 29 |
| 7.3. | Textura de los suelos de la finca agroecológica la esperanza. | 30 |
| 7.3.1. | Limo +arcilla. | 30 |
| 7.3.2. | Arcilla. | 31 |

| | |
|--|----|
| 7.3.3. Limo..... | 32 |
| 7.3.4. Arena..... | 33 |
| 7.3.5. Textura de los suelos..... | 34 |
| 7.4. Determinación del color de suelo..... | 35 |
| 7.5. Moteado del suelo..... | 36 |
| 7.6. Porosidad total del suelo..... | 37 |
| 7.6.1. Valores discretos de macroporosidad y microporosidad en el suelo..... | 38 |
| 7.7. Densidad aparente..... | 39 |
| 7.8. Densidad real..... | 40 |
| 7.9. Compactación del suelo..... | 41 |
| 7.9.1. Compactación de suelo en psi. a 30 cm de profundidad..... | 41 |
| 7.9.2. Compactación de suelo en psi. a 60 cm de profundidad..... | 42 |
| 7.10. Conductividad hidráulica..... | 43 |
| 7.10.1. Punto 1. toma de conductividad hidráulica (ver anexo 16)..... | 43 |
| 7.10.2. Punto 2. toma de conductividad hidráulica. (ver anexo 17)..... | 44 |
| 7.10.3. Punto 3. toma de conductividad hidráulica (ver anexo 18)..... | 44 |
| VIII Conclusiones..... | 46 |
| IX. Bibliografía..... | 48 |
| X. Anexos..... | 53 |

Índice de cuadros

| | |
|--|----|
| cuadro 1. clasificación de profundidad efectiva..... | 7 |
| cuadro 2. tamaño de partículas del suelo..... | 9 |
| cuadro 3. resultados de profundidad efectiva de suelos de la finca la esperanza..... | 27 |
| cuadro 4. infiltración del agua en el suelo parte baja de la finca agroecológica la esperanza..... | 27 |
| cuadro 5. infiltración del agua en el suelo parte alta de la finca agroecológica la esperanza..... | 29 |
| cuadro 6. determinación de color de suelo de la finca agroecológica la esperanza..... | 35 |
| cuadro 7. porcentaje de la cantidad de moteado en suelos de la finca la esperanza..... | 36 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| figura 1. fracción del suelo en estado de meteorización..... | 8 |
| figura 2. diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas de la estructura de los suelos..... | 10 |
| figura 3. mapa de ubicación de la finca agroecológica la esperanza..... | 14 |
| figura 4. grafico de comportamiento de la velocidad de infiltración del agua en el suelo de la finca agroecológica la esperanza..... | 28 |

| | |
|--|----|
| figura 5.grafico del comportamiento de velocidad de infiltración del agua en el suelo de la finca agroecológica la esperanza. | 29 |
| figura 6. mapa porcentaje de limo+ arcilla en suelos de finca agroecológica la esperanza. | 30 |
| figura 7. mapa porcentaje de arcilla en suelos de la finca agroecológica la esperanza. | 31 |
| figura 8. mapa porcentaje de limo en suelos de la finca agroecológica la esperanza..... | 32 |
| figura 9. mapa de porcentaje de arena en suelos en finca agroecológica la esperanza. | 33 |
| figura 10.mapa de textura de suelos de la finca agroecológica la esperanza..... | 34 |
| figura 11. mapa de porosidad total en suelos en finca agroecológica la esperanza..... | 37 |
| figura 12.grafico de valores discretos de macroporosidad y microporosidad en el suelo de la finca la esperanza..... | 38 |
| figura 13. mapa de densidad aparente de suelos de finca agroecológica la esperanza. | 39 |
| figura 14. mapa de densidad real en suelos de finca agroecológica la esperanza. | 40 |
| figura 15. mapa de compactación de suelo en psi a una profundidad de 30 cm. de la finca agroecológica la esperanza | 41 |
| figura 16. mapa de compactación de suelo en psi a una profundidad de 60 cm. de la finca agroecológica la esperanza | 42 |

Índice de Fotos

| | |
|---|----|
| Foto 1. Realizando un agujero con el barreno | 17 |
| Foto 2. Agua del anillo interior y exterior a un nivel similar | 18 |
| Foto 3. Midiendo la resistencia del suelo con penetrometro | 20 |
| Foto 4. Ensamble de triple..... | 22 |
| Foto 5. Introduciendo el reservorio Inferior dentro del reservorio exterior | 22 |
| Foto 6. Medición del flujo de salida de Agua del equipo hacia el suelo | 22 |
| Foto 7. Pesado de Muestra..... | 23 |
| Foto 8. Agitando la mx con el embolo | 23 |
| Foto 9. Sometimiento al suelo por dispersión | 23 |
| Foto 10. Toma de muestra en campo..... | 25 |
| Foto 11. Preparación de muestra. | 25 |
| Foto 12. Preparación de muestra. | 25 |
| Foto 13. Enfrió de picnómetro..... | 26 |
| Foto 14. Removiendo el aire caliente. | 26 |
| Foto 15. Muestra de suelo+agua..... | 26 |

Índice de Anexos

| | |
|---|----|
| Anexos 1. Relación velocidad de infiltración y drenaje del suelo..... | 53 |
| Anexos 2. Relación que existe entre la velocidad de infiltración con la textura de los suelos. | 53 |
| Anexos 3. Cuadro De Determinación De La Textura Del Suelo De La Finca Agroecológica La Esperanza..... | 54 |
| Anexos 4. Tabla de factores de corrección para textura..... | 55 |
| Anexos 5. Tabla característica de los suelos en función de su textura..... | 55 |
| Anexos 6. Tabla de munsell. | 56 |
| Anexos 7. Tabla colores asociados con los componentes minerales y orgánicos del suelo..... | 56 |
| Anexos 8. Tabla de clasificación de la abundancia de los moteados | 57 |
| Anexos 9. Tabla de clasificación de los moteados | 57 |
| Anexos 10. Tabla de Interpretación de la porosidad. | 58 |
| Anexos 11. Cuadro de porcentaje de porosidad de suelos de la finca agroecológica La Esperanza. | 58 |
| Anexos 12. Cuadro de Valores de micro porosidad y macro porosidad del suelo de la finca agroecológica La Esperanza. | 59 |
| Anexos 13. Cuadro de resultados de densidad aparente de la finca agroecológica La Esperanza. | 60 |
| Anexos 14. Cuadro de Relación entre la densidad aparente y la textura del suelo y su influencia en el desarrollo radicular de la planta. | 61 |
| Anexos 15. Resultados de densidad real de la finca La Esperanza. | 62 |
| Anexos 16. Clasificación de la resistencia mecánica de los suelos..... | 62 |
| Anexos 17. Resultados de velocidad de infiltración de los suelos de la finca La Esperanza..... | 63 |
| Anexos 18. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica. | 64 |
| Anexos 19. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica. | 65 |
| Anexos 20. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica. | 66 |

Resumen

La investigación se desarrolló en una finca cafetalera con manejo agroecológico en el departamento de Santa Ana. Con el objetivo de caracterizar las propiedades físicas del suelo evaluando sus propiedades y relacionarlas, con el manejo agroecológico como un indicador relevante en el comportamiento potencial de la producción de la finca.

Se han extraído muestra de suelo y analizadas por diferentes métodos de campo y laboratorio las muestras en campo fueron analizadas con equipo de alta tecnología, como el permeámetro de guelph, penetrometro y GPS. Con el fin de poder obtener datos que posean un nivel alto de veracidad y las muestras que no se pudieron analizar en campo, fueron llevadas al laboratorio de suelos de la facultad de ciencias agronómicas de la Universidad de El Salvador. En donde se realizaron análisis para determinar el tipo de textura del suelo, densidad aparente, densidad real, porosidad y color de suelo.

Con los resultados obtenidos de campo y laboratorio se realizó el análisis de interpretación para dar las recomendaciones necesarias con el fin de que la finca agroecológica sea más productiva.

Abstract

The research was developed in a coffee farm with agroecological management in the department of Santa Ana. With the objective of characterizing the physical properties of the soil, evaluating its properties and relating them, with agroecological management as a relevant indicator in the potential behavior of the production of the farm.

Soil samples have been extracted and analyzed by different field and laboratory methods. The field samples were analyzed with high-tech equipment, such as the guelph permeameter, penetrometer and gps, in order to be able to obtain data that have a high level of veracity. and the samples that could not be analyzed in the field were taken to the soil laboratory of the faculty of agronomic sciences of the University of El Salvador. Where analyzes were carried out to determine the type of soil texture, apparent density, real density, porosity and soil color.

With the results obtained from the field and laboratory, the interpretation analysis was carried out to give the necessary recommendations in order to make the agroecological farm more productive.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los recursos natural más importante dentro de la naturaleza para el crecimiento y un buen desarrollo para los cultivos y la base de la rentabilidad de la agricultura.

La naturaleza y fertilidad de los suelos dependen de una serie de influencias: roca madre, relieve, clima, crecimiento, descomposición de vegetación y tiempo las cuales se combinan para determinar las características claves de un suelo.

La roca madre influye en la formación de suelos en aspectos esenciales como las características físicas (textura, densidad, estructura) que regulan la porosidad y características que enriquecen o empobrecen los suelos de ciertos elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

En El Salvador el recurso suelo es de los que se les han dado un mal manejo y por eso está bien deteriorado y se puede manifestar en la baja productividad de los cultivos.

El deterioro de los suelos físicos se debe al constante cambio de uso forestal al agrícola al manejo inadecuado que reciben por parte de los productores debido al enfoque de agricultura convencional que se ha venido trabajando en el país.

Existe preocupación por parte de los productores, instituciones y organismos ambientales sobre los grandes cambios que están ocurriendo en las propiedades físicas del suelo pero en la actualidad no hay instituciones que se dediquen al estudio en general del suelo para apoyar a los pequeños productores que ven a gran velocidad como estos se manifiestan en la baja productividad de sus cultivos.

Uno de los propósitos de esta investigación es para que los productores de café con enfoque agroecológico tengan una línea base ya que no existen antecedentes históricos en el país de cómo se está realizando el manejo en suelos de acuerdo al estudio de las propiedades físicas y puedan tener una mayor rentabilidad invirtiendo menos dinero en el manejo agronómico produciendo café de buena calidad con fincas cafetaleras amigables con el medio ambiente.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El seguimiento de los cambios en la evolución del suelo es de suma relevancia para la identificación de los mismos y desarrollar medidas correctivas en el momento preciso en el que se presentan evitando una degradación en el suelo.

La falta de conocimiento de los productores en realizar manejo en conservación de suelo para disminuir la erosión, porcentaje de pendiente y mejorar la estructura, textura y capacidad de infiltración determina la velocidad de deterioro de un suelo productivo.

Existe preocupación por parte de los productores, instituciones y organismos ambientales sobre los grandes cambios que están ocurriendo en las propiedades físicas del suelo pero en la actualidad no hay instituciones que se dediquen al estudio en general del suelo para apoyar a los pequeños productores que ven a gran velocidad como estos se manifiestan en la baja productividad de sus cultivos.

¿Será que la falta de conocimiento en el manejo de conservación de suelo de parte de los productores determinan las propiedades físicas del suelo y estas influyen en el comportamiento productivo de los agroecosistemas en el sistema finca la esperanza ubicada en el departamento de Santa Ana ?

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general.

Caracterizar las propiedades físicas del suelo en una finca cafetalera con manejo agroecológico caso finca La Esperanza.

3.2. Objetivos específicos.

Evaluar las propiedades físicas del suelo en la finca agroecológica La Esperanza.

Relacionar las propiedades físicas del suelo con las prácticas de manejo agroecológico, como un indicador relevante en el comportamiento potencial de producción en la finca.

IV. ESTADO DEL ARTE

Para el estudio de las propiedades físicas en suelos del cultivo de café en el municipio de Morales, Colombia. Surge la idea para productores de trabajar con la agricultura orgánica siendo está más sostenible porque disminuye la inversión de costos de producción y por ende se generan más beneficios económicos y ecológicos. Al finalizar el estudio se obtuvieron los siguientes resultados propiedades físicas de los suelos independientemente del sistema de producción, las fincas muestreadas presentaron en promedio densidad aparente 0.8gr/cm^3 lo cual no presentan ningún inconveniente o limitante para el buen desarrollo de la caficultura en las zonas estudiadas, además cabe destacar que estos valores de Da están en el rango apropiado para el cultivo de café. (Calambias 2009).

El estudio se realizó en la estación experimental El Rosario. En Venecia en un terreno con signos de erosión se sembró café variedad Colombia, en suelos sin y con cobertura evaluando las propiedades físicas del suelo. Se registró la producción de café en tres cosechas dentro de una misma fase de erosión sobre las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, retención de humedad, porosidad. Se utilizó la metodología de comparación de propiedades físicas del suelo y la producción de café obtenida en suelos sin y con cobertura. (Hincapie 2011)

La experiencia la realizaron unos productores de la localidad de Juan Viñas, cantón de Jiménez, Costa Rica. Las evaluaciones fueron realizadas en mayo iniciada ya la época lluviosa. La resistencia a la penetración se determinó con 2 tipos de penetrómetros ambos de pistón y del tipo estático que en este estudio se denominarán “chatillon” y “soil test”. En este caso la diferencia entre ambos fue el diámetro del pistón 5 y 6 mm respectivamente. Para hacer cada determinación, se procedió a limpiar la superficie con el fin de asegurarse de hacer las determinaciones sobre el suelo y no sobre alguna piedra o material extraño esto mismo se aplicó para las otras variables del estudio y tanto en la determinación a nivel superficial como a los 15 cm de profundidad. Para esta última se procedió a escarbar con una pala y medir con una cinta métrica hasta alcanzar la profundidad deseada de 15 cm. Una vez lista la superficie de determinación, el penetrómetro se introdujo suavemente en el suelo y en forma constante hasta alcanzar la marca de penetración la cual es de 5 mm de profundidad. (Villalobos 2011)

Los caficultores en Colombia han evolucionado en diferentes aspectos y no han dejado de lado investigar las propiedades físicas del suelo la investigación se realizó en Chinchina, Caldas en 8 localidades compararon promedios generales de las propiedades físicas del suelo entre 2 agroecosistemas los suelos con sombrero tuvieron mayores valores de porosidad total humedad mientras que los cafetales a plena exposición solar se encontraron con mayores valores de resistencia a la penetración y densidad aparente. (Cardona 2005)

El estudio lo realizaron los habitantes del municipio de Caripe estado de Monagua, Venezuela con la ayuda del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) el objetivo fue la caracterización de las propiedades físicas del suelo ya que también la zona es una de las principales proveedoras de agua de la región. Las muestras de suelos fueron colectadas y

procesadas en el laboratorio de suelo de la Universidad de Oriente en donde determinaron las variables conductividad hidráulica, macroporosidad, granulometría, densidad aparente y densidad real. (Maestre 2016)

Los habitantes de la localidad del municipio de Trinidad tomaron muestras de suelo a diferentes dimensiones de profundidad de 0-10-20-40 cm. En tres áreas de producción de café mediante los análisis observaron que el área que estaba dedicada a cultivos en hilera sin sombra mostraba la mayor degradación de las propiedades físicas del suelo y que el área que estaba dedicada a la producción de café bajo árboles de la clase de guamo, mantenían sus propiedades físicas muy similar a las de los bosques de Pluvialva. (Reyes 2007)

El proyecto se realizó en el departamento de Cauca, en los municipios de Morales, Piendamó y Caldano en los resguardos de agua negra. Chimboro, Honduras, La María, Las Mercedes y Caldono con el objetivo de estudiar las propiedades físicas del suelo en sistemas de producción orgánico y tradicional la idea surge a partir de mostrar a los productores cafetaleros que trabajar con agricultura orgánica el sistema cafetalero es más sostenible y por ende genera beneficios económicos y ecológicos a los productores. (Muelas 2009)

El diagnóstico lo realizaron los habitantes de la microcuenca la Suiza, municipio de Montecristo, Chiapas. Los productores de café al ver la baja productividad de sus cosechas en 12 hectáreas que se cultivaron dentro de la reserva de la biosfera pérdida de biodiversidad, servicios ecosistémico en el área natural, pocos ingresos familiares y daño por la roya en los cultivos. Incentivaron a los productores a mejorar sus prácticas de cultivo especialmente la fertilización en donde se analizaron textura, profundidad efectiva, densidad aparente, infiltración, porosidad con el objetivo de poder mejorar la productividad del café. (Molina 2016)

Los productores de café en el municipio de Campoalegre, departamento de Huila, Colombia realizan estudios de las propiedades físicas del suelo ya que para ellos son el soporte vital para el desarrollo de las plantas y de los organismos y de este depende la productividad de los cultivos sin embargo ellos están muy conscientes que el manejo de la agricultura puede cambiar la calidad de suelo, en este contexto el objetivo de caracterizar las propiedades físicas del suelo y su relación con los sistemas de producción los caficultores toman muestras de suelo hasta una profundidad de 60 cm y determinan la densidad aparente, porosidad total, conductividad hidráulica para poder encontrar la principal diferencia en el grado de compactación de suelo reflejado con la densidad aparente y otros parámetros. (Saavedra 2019)

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

La historia del cultivo de café en El Salvador es la historia de la economía de ese país su desarrollo incipiente genero la acumulación del capital, solo años más tarde impulso un desarrollo nunca antes visto de la infraestructura nacional, apalanco ciudades dio empleo a millones de personas y puso a El Salvador como referente mundial. (UCA 2013).

Calificamos como edad de oro del café salvadoreño a la época de 1,863 a 1,885 durante la cual el grano llego a ser la principal exportación. (Kerr 1980)

En 1,955 había cerca de 20,000 cafetales comerciales con más o menos 137,000 hectáreas plantadas. Según el censo de 1,950 estas cifras equivalen aproximadamente al 25% de la superficie total apta para cultivos anuales o perennes. Las plantaciones de menos de 10 hectáreas cubrían el 22% de la superficie total, las fincas con 10 a 100 hectáreas el 49% y las que superan las 100 hectáreas, el 29%. (CEPAL 1957)

El cambio en el modo de acumulación significó la emergencia de nuevos sistemas de producción, comercialización y consumo, entre los que destacan el café de especialidad, los orgánicos, el comercio justo, los cafés ecológicos, los cafés amigables con las aves migratorias y los responsables. (Caballero 2019)

El hombre siempre ha tenido una íntima e intensa relación con el suelo. Antes de que empezase la agricultura sedentaria, hace aproximadamente 11, 000 años, los suelos fueron reconocidos como fuente para el crecimiento de alimentos, fibras y combustibles. Cuando comenzó el cultivo de cosechas, se encontraron diferencias en las propiedades y tipos de suelos que influyeron en gran medida en la forma de tratamiento del suelo y las plantas que se cultivaban. (Ortiz .2015)

Es con la civilización griega con la que se comienza a ver el suelo con una visión más amplia. Empédocles (482-430 a.C.) y Aristóteles (384-322 a.C.) generalizaron la experiencia de la utilización de la tierra en Grecia y además recogieron información adicional de otros lugares como Egipto y Mesopotamia, entre otros. Veían el perfil del suelo desde un punto de vista agronómico, diferenciando un horizonte superficial aceptable para ser arado y un horizonte sub superficial que servía como alimento a las raíces. (Ortiz 2015)

5.1. La condición óptima de suelo.

Para el cultivo de café orgánico es con textura franca; pero se adapta a suelos desde Franco Arcillosos hasta Franco Arenoso, con pendiente suave de 5 a 12 %. Considerando además sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (Caballero 2019)

5.2. Propiedades físicas óptimas de cafetales agroecológicos.

El suelo ideal para el cultivo de café es uno con 50 cm de profundidad, 50 % de porosidad, 45 % de sustancia mineral y 5 % de materia orgánica. (Caballero 2019)

5.3. Desde el punto de vista edáfico a un suelo se conoce como.

Un cuerpo natural tridimensional formado por la progresiva alteración física y química de un material original o roca madre a lo largo del tiempo, bajo unas condiciones climáticas y topográficas determinadas y sometido a la actividad de organismos vivos, mantiene un continuo intercambio de materia y energía. (Hosokay 2012)

Por el desconocimiento de las propiedades físicas que posee un suelo muchas veces se le expone a su degradación y con ello la pérdida de sus principales funciones ecosistémicas y su capacidad

productiva. Con ello se expone a sus propietarios como a las poblaciones que dependen de la agricultura a escasez de alimentos, inundaciones, sequías, deslizamientos de suelos, licuefacción y otros daños que ponen en peligro la existencia de la vida humana y propiedades. (Marín 2011)

5.4. Las propiedades físicas de un suelo.

Todas aquellas características que denotan el estado, capacidad de trabajo, la importancia de conocer las condiciones físicas con las que cuenta un suelo es tal que nos permite determinar a qué estrés puede estar sometido el cultivo de la forma y energía de la materia. El conocimiento de estas propiedades nos permite conocer mejor las actividades agrícolas, como el laboreo, la fertilización, drenaje, irrigación, disponibilidad de nutrientes así como el manejo adecuado de los residuos de las cosechas. (Coppens 2017)

5.4.1. El suelo como un sistema complejo con tres fases bien diferenciadas.

- ✓ Sólida: constituida por la matriz del suelo compuesta por sustancias minerales y orgánicas.
- ✓ Líquida: constituida por una solución de agua y sales disueltas.
- ✓ Gaseosa: constituida por una mezcla de aire y vapor de agua.

Estas dos últimas fases ocupan conjuntamente los poros del suelo, el número y tamaño de éstos varía con cada tipo de suelo. (Prado 2004)

5.4.2. Profundidad efectiva.

Se entiende como el suelo que puede ser aprovechado por las raíces en función de las plantas, entre más profundidad mayor densidad y menor porosidad (FAO 2009).

Cuadro 1. Clasificación de profundidad efectiva

| clasificación | profundidad (cm) |
|---------------------------|------------------|
| muy profundo | > de 150 |
| profundo | 100-150 |
| moderadamente profundo | 50-100 |
| superficial | 50-25 |
| moderadamente superficial | <25 |

(UNAG 2017)

5.4.3. Humedad gravimétrica.

Es la relación del peso del agua con el peso de las partículas sólidas en una porción el suelo se debe entender como un depósito que contiene agua y que es posible determinar en cualquier momento. (Martínez 2016)

5.4.4. Capacidad de infiltración.

Es la entrada del agua al perfil del suelo a través de la superficie al hacer contacto con la atmosfera se encuentra limitado por muchos factores los más importantes son la macroporosidad, la estructura y la cantidad de agua inicial que contenga el suelo. En suelos secos la tasa de infiltración es alta debido a que el suelo tiene la capacidad de absorber el agua más rápido, esto dependiendo de la textura pero a medida que transcurre el tiempo alcanza una tasa mínima o estacionaria llamada comúnmente infiltración básica. (Martínez 2016)

5.4.5. Textura.

Es el tamaño de las partículas minerales que tiene el suelo, sin tomar en cuenta qué mineral es y se expresa en porcentaje. (Zaenz 2011)

Composición mineralógica de las fracciones del suelo, desde el punto de vista mineralógico, existen ciertas relaciones generales entre las fracciones granulométricas y los minerales que las componen, de acuerdo a los principios ya vistos. A medida que las partículas minerales disminuyen de tamaño, aumenta su superficie específica y también su susceptibilidad a los procesos de alteración química. En consecuencia, las diferencias de estabilidad de los minerales serán un importante factor que determine el cambio en composición mineralógica con el tamaño de partícula. Estos cambios son particularmente marcados a medida que nos aproximamos al tamaño de la fracción arcilla. Normalmente la composición mineralógica de las fracciones arena y limo se considera separadamente de la fracción arcilla. Esta distinción resulta de las diferencias marcadas en composición mineralógica y en consecuencia, los métodos usados para la determinación de la mineralogía de la arena limo por un lado y de la arcilla por otro. (Rucks 2004)

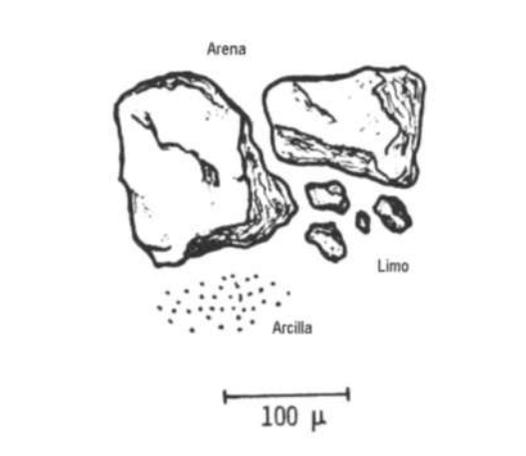


Figura 1. Fracción del suelo en estado de meteorización

5.4.5.1. Fracciones arena y limo.

Las partículas de arena más bastas son casi siempre fragmentos de roca sobre todo de cuarzo, existiendo además cantidades variables de otros minerales primarios. La composición mineralógica de estas fracciones sigue los principios visto anteriormente y varía para los distintos suelos según la roca madre y el grado de meteorización. (Rucks 2004)

5.4.5.2. Fracción arcilla.

En esta fracción se encuentran generalmente diversos minerales secundarios convencionalmente se pueden clasificar en silicatos y no silicatos. Los silicatos incluyen la caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y alofán, entre otros. La variación que existe entre estos grupos de arcillas en plasticidad, cohesión, adhesión, capacidad de intercambio catiónico y otras

propiedades es muy grande. Por eso es un dato de considerable importancia el saber qué tipo de arcilla domina en un suelo o cuáles coexisten. (Rucks 2004)

Los no filosilicatos incluyen: cuarzo y otras formas de sílice (SiO₂); óxidos e hidróxidos de hierro, tales como hematita o goethita; óxidos e hidróxidos de aluminio tales como gibbsita; y carbonato de calcio. Parte del material mineral de la arcilla de los suelos es cristalino y parte amorfo. (Rucks 2004)

Según USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), tenemos las siguientes clases de partículas inferiores a 2 mm de diámetro (Ø): Todas las clasificaciones por tamaño, tienen en común el límite de dos micras (0.002 mm) para la fracción arcilla y difieren fundamentalmente en la subdivisión de la fracción arena. (Rucks 2004)

Cuadro 2. Tamaño de partículas del suelo.

| Partículas | Tamaño de partículas en mm |
|------------------|----------------------------|
| Arena muy gruesa | 2 mm > Ø > 1 mm |
| Arena gruesa | 1 mm > Ø > 0.5 mm |
| Arena media | 0.5 mm > Ø > 0.25 mm |
| Arena fina | 0.25 mm > Ø > 0.10 mm |
| Arena muy fina | 0.10 mm > Ø > 0.05 mm |
| Limo | 0.05 mm > Ø > 0.002 mm |
| Arcilla | Ø < 0.002 mm |

Fuente:(USDA 1999)

5.4.5.3. Métodos para determinar la textura del suelo.

Textura por el método de bouyoucos.

La determinación de la textura en el laboratorio se basa en la medición de la velocidad de sedimentación de las partículas dispersas en el agua las partículas grandes se sedimentan con mayor rapidez que las partículas pequeñas; esto es porque las partículas más grandes tienen menos área específica por lo tanto menos flotabilidad que las partículas más pequeñas. La ley de Stokes se utiliza para expresar la relación en ella se estipula que la resistencia ofrecida por el líquido a la caída de la partícula varía con el radio de la esfera y no con la superficie la velocidad de caída de las partículas con la misma densidad en un determinado líquido aumenta con el cuadrado del radio. (Rodríguez 2015)

Diagramas triangulares siendo el triángulo de referencia un triángulo rectángulo o un triángulo equilátero se usa actualmente de un modo casi unánime un triángulo equilátero cada uno de sus lados a un eje graduado de 10 en 10 de 0 a 100 sobre el cual se transporta la cantidad del elemento que representa; en general un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo el tercero a la arena. (INTA 2015)

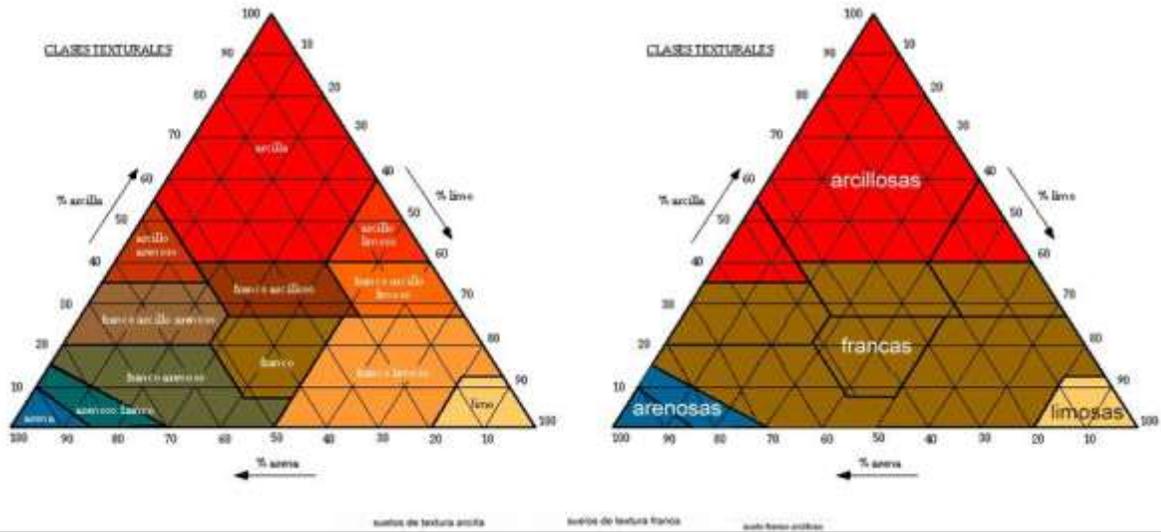


Figura 2. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas de la estructura de los suelos.

La agregación de partículas individuales del suelo para generar unidades de mayor tamaño conocidas como agregados o terrones y que son el resultado de procesos pedogenéticos. (Moreno 2006)

5.4.5.4. Granular.

Unidades pequeñas poliédricas regulares o esferoides dispuestos alrededor de un punto con sus tres dimensiones de tamaños similares. (Martínez 2016)

5.4.5.5. Poliédrica.

Caras intersectadas unas con otras formando ángulos agudos. (Moreno 2006)

5.4.5.6. Subpoliédrica.

Poliedro de caras planas y redondeadas que carece de ángulos agudos. (Martínez 2016)

5.4.5.7. Grumosa.

Agregados pequeños porosos y redondeados. (Moreno 2006)

5.4.5.8. Columnar.

Unidades verticalmente alargadas con el extremo final alargado. (Moreno 2006)

5.4.5.9. Laminar.

Unidades horizontalmente alargadas. (Martínez 2016)

5.4.5.10. Masiva.

No se presentan unidades estructurales, por esto tiende a ser una masa sin grietas y sin diferenciación de agregados. (Martínez 2016)

5.4.6. Grado.

Se puede Clasificar la intensidad de agregación de las partículas y la adhesividad entre estas.

5.4.6.1. Sin estructura.

No existen agregados visibles en caso de haberlos no se presentan un ordenamiento natural de las líneas. (Martínez 2016)

5.4.6.2. Débil.

Escasos agregados formados difícilmente visibles. (Martínez 2016)

5.4.6.3. Moderado.

Agregados bien formados y diferenciados de duración moderada. (Moreno 2006)

5.4.6.4. Fuerte.

Agregados duraderos evidentes en suelos no alterados. (Martínez 2016)

5.4.7. Clase.

Describe el tamaño medio de los agregados individuales y se divide en:

- Muy fino o muy delgado.
- Fino o delgado.
- Medio.
- Grueso o espeso.
- Muy grueso o muy espeso. (Martínez 2016)

5.4.8. Color del suelo.

El color del suelo es un indicador muy útil de la calidad del suelo pues pueden proveer una medición indirecta de otras propiedades del suelo, que no son fácilmente observables y medibles. En general cuando más oscuro es el suelo, mayor es la presencia de materia orgánica (Vargas 2014)

A la hora de clasificarlos se dice que los suelos de color amarillo grisáceo o de varios colores son considerados como de baja calidad, el pardo claro es de calidad media, mientras que los suelos de color negro, pardo oscuro, rojo oscuro son considerados de buena calidad. (Cos 2017)

Color negro: Este color ha sido asociado con condiciones de buena fertilidad buena estructuración y rica actividad biológica, se asocia a la incorporación de materia orgánica que se descompone en humus que da la coloración negra al suelo, este color por lo general está asociado a la presencia de Carbonatos de Ca^{2+} o Mg^{2+} más materia orgánica altamente descompuesta y otros cationes (Na^+ , K^+). (SENA 2021)

Color rojo: se asocia a procesos de alteración de los materiales parentales bajo condiciones de alta temperatura, baja actividad del agua, rápida incorporación de materia orgánica, alta liberación de Fe de las rocas es indicativo de condiciones de alta meteorización, se asocia a niveles bajos de fertilidad del suelo, ph ácidos y ambientes donde predominan los procesos de oxidación. (SENA 2021)

Color amarillo a marrón amarillento claro: por lo general es indicativo de meteorización bajo ambientes aeróbicos (oxidación), Se relaciona con condiciones de media a baja fertilidad del suelo se asocia con la presencia de Óxidos hidratados de Fe^{3+} (SENA 2021)

Color marrón: este color está muy asociado a estados iniciales a intermedios de alteración del suelo; se relaciona con niveles medios a bajos de materia orgánica en general se asocia con la ocurrencia de Materia orgánica ácida parcialmente descompuesta y combinaciones de óxidos de Fe más materiales orgánicos. (SENA 2021)

Color blanco o ausencia de color: se debe fundamentalmente a la acumulación de ciertos minerales como calcita, dolomita y yeso así como algunos silicatos y sales. También se asocia con la presencia de tierras alcalinas (CaCO_3 , MgCO_3) Sales altamente solubles (cloruros, nitratos de Na^+ y K^+)(SENA 2021)

Color gris: puede ser indicativo del ambiente anaeróbico. Este ambiente ocurre cuando el suelo se satura con agua siendo desplazado o agotado el oxígeno del espacio poroso del suelo bajo estas condiciones las bacterias anaeróbicas utilizan el Fe^{3+} presente en minerales como la goetita y la hematita como un aceptor de electrones en su metabolismo. (SENA 2021)

Color verde: en algunos suelos con condiciones de mal drenaje se genera este color también se asocia con la ocurrencia de Óxidos Fe^{2+} (incompletamente oxidados). (SENA.2021)

Color azulado: en zonas costeras o pantanosas donde hay presencia del anión sulfato y existen condiciones de reducción (saturación con agua y agotamiento del oxígeno) adicionalmente esta coloración se asocia con la presencia de Óxidos hidratados de Al (Aloisita) y fosfatos ferrosos hidratados. (SENA 2021)

5.4.9. Moteado de suelo.

La cantidad y color de las manchas de suelo da una Indicación del drenaje y aireación del suelo también es una alerta temprana a la declinación de la estructura del suelo debido al pisoteo o sobre explotación. (Vargas 2014)

5.4.10. Porosidad de un suelo (%).

La porosidad del suelo se mide por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total, y que la densidad aparente relaciona el espacio poroso con el peso de forma que cuando la densidad aparente aumenta el volumen de poros disminuye y viceversa. (Larios 2014)

La porosidad tiende a disminuir en el sistema convencional debido a que menores niveles de materia orgánica ocasionan menor actividad biológica y menor porosidad en el suelo. (Lario 2014)

5.4.11. Densidad.

Los suelos naturalmente tienen diferentes densidades debido a la diferencia de texturas de la porosidad y de la materia orgánica. Los suelos arenosos poseen una densidad del suelo de 1.20 a

1.80 g/cm³ y una porosidad de 35 a 50 %, mientras que suelos arcillosos poseen una densidad de 1.00 a 1.60 g/cm³ y una porosidad de 40 a 60 %. Se debe de recordar que la densidad y la porosidad del suelo son características que pueden ser variables según el tipo y de la intensidad de labranza. (Martínez 2016)

5.4.11.1. Densidad Aparente.

Cuando la densidad aparente del suelo aumenta se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad limitando a su vez el crecimiento de las raíces, la densidad aparente es afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso e a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica del suelo a medida que aumenta la materia orgánica y espacio poroso disminuye la densidad aparente. En suelos de textura fina la DA varía entre 1 y 1.6 g/cm³ la naturaleza las dimensiones y el arreglo de las partículas del suelo además de otros factores relacionados con su formación también influyen sobre los valores de la densidad aparente. (Aveiro 2005)

Es la relación entre la masa secada en horno (estufa 105 °C) de las partículas del suelo y el volumen total, esto incluye el espacio poroso que ocupan la densidad aparente permite estimar el grado de compactación cuando se conoce la porosidad del suelo. La densidad aparente se encuentran alrededor de 1.75 g/cm³ para suelos de textura arena franca, 1.50 g/cm³ para suelos franco arenosos, 1.40 g/cm³ para suelos franco limosos y 1.20 g/cm³ para franco arcillosos. (Varas 2016)

5.4.11.2. Densidad real.

Es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo el contenido de los elementos que componen el suelo es el que determina el valor de la densidad real lo que liga directamente a la composición química. (Martínez 2016)

5.4.12. Compactación del suelo.

Es el incremento de la densidad aparente, que resulta de la aplicación de una carga o presión esta presión puede venir de fuerzas mecánicas aplicadas, de la contracción de algunos suelos al secarse y de la destrucción de la materia orgánica o de la estructura del suelo; sin embargo, los principales problemas de la compactación de suelo se debe al uso excesivo de maquinaria agrícola y la práctica inoportuna de labranza, lo cual genera la formación de una capa dura inmediatamente debajo del suelo arado (Betacourt 2013)

5.4.13. Conductividad hidráulica del suelo.

La conductividad hidráulica de un suelo es un parámetro hidrodinámico de gran importancia para estudios de flujo de agua con el fin de proporcionar las mismas condiciones ambientales adecuadas para el normal desarrollo de los cultivos las variaciones que tiene lugar en este flujo de agua dependen de las propiedades del medio poroso en este caso el suelo agrícola a través del cual ocurre el flujo, así como también de las propiedades de la solución del suelo la cual desde luego contiene soluto en concentraciones que varían con el tiempo.(Forero 2000)

VI. METODOLOGÍA.

6.1. Descripción del lugar de estudio.

La investigación se realizó en el periodo comprendido de Mayo a Octubre del año 2,021 en la Finca Agroecológica La Esperanza, ubicada en el Cantón San Juan Buena Vista, municipio de Santa Ana, kilómetro 58 1/2 carretera panamericana Departamento de Santa Ana, cuenta con una área de 14 mz de propiedad con una elevación de 725 msnm con coordenadas geográficas latitud 14°05'24'N, longitud 89°30'40'O y una temperatura promedio Anual de 23.6°C, Humedad relativa máxima de 78.9 % y una mínima de 61.1% con precipitación anual de 1,780.58mm.

La finca agroecológica La Esperanza cuenta con áreas de pendientes inclinadas y algunas llanuras.

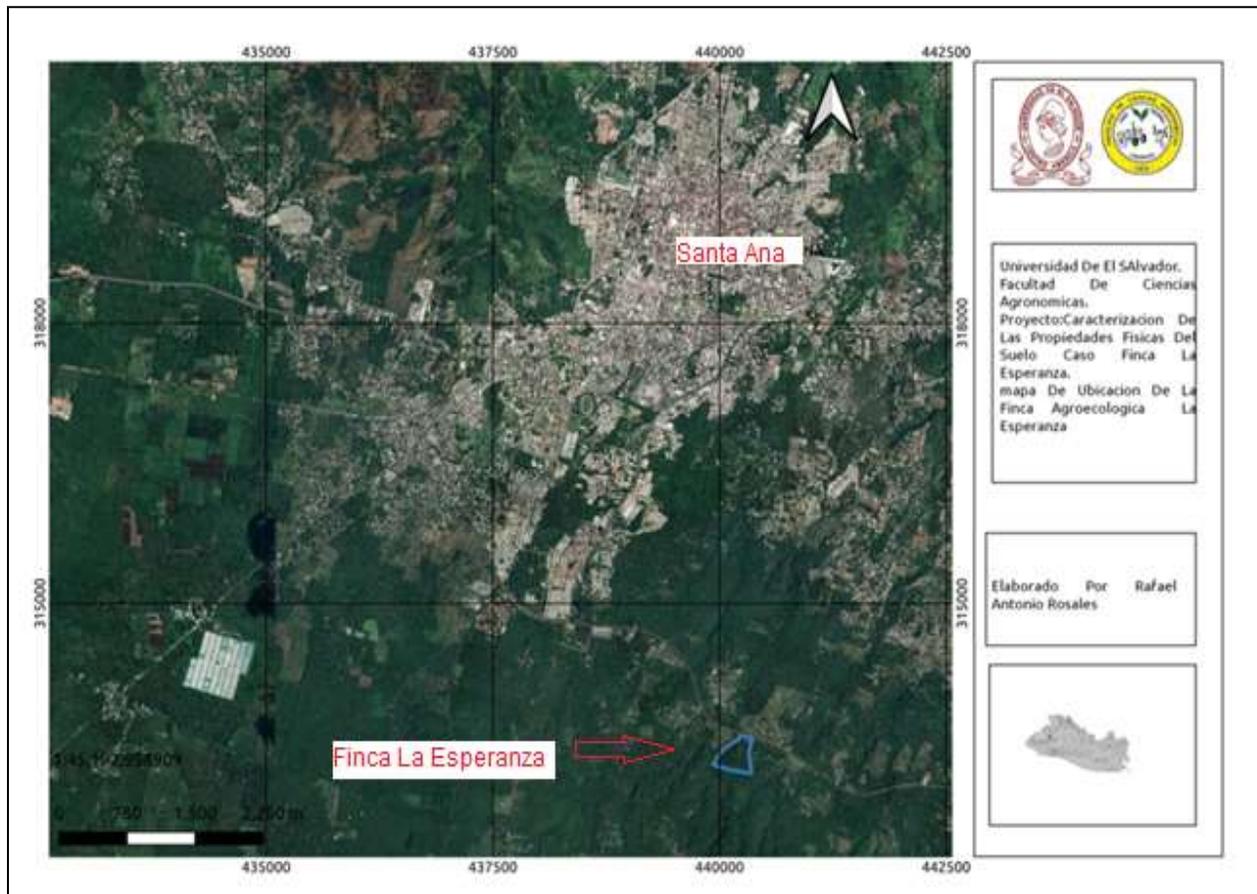


Figura 3. Mapa de ubicación de la finca agroecológica La Esperanza.

6.2. Instrumentos, herramientas y equipo de la investigación.

Para la realización de la investigación se utilizaron. Una Laptop que ayudo a la recolección de información para la elaboración del proyecto de investigación. Además se utilizaron una cinta métrica para medir la profundidad efectiva del suelo. Se utilizaron también un teléfono celular para la toma de fotografías, permeámetro de Guelph para medir la conductividad hidráulica del

suelo, cilindros infiltrómetros para medir la velocidad de infiltración y GPS (sistema de posicionamiento global) para toma de georreferencia de las diferentes áreas para tener una mayor precisión del punto de muestreo de la finca.

Barreno, azadón, pala, machetes, marcadores, bolsas plásticas, se tomaron las muestras de suelo y se guardaron en bolsas plásticas las cuales llevaron rotuladas su respectiva información.

Los cilindros metálicos se usaron para tomar muestra para la medición de densidad aparente. El equipo Penetrometro para medir la compactación o resistencia de un suelo agrícola.

Todas estas muestras fueron llevadas a laboratorio en donde se analizó los parámetros de las propiedades físicas del suelo del sistema finca agroecológica la Esperanza.

6.3. Tipo de investigación

La investigación según su alcance fue de tipo exploratoria descriptiva debido a que se investigó la caracterización de las propiedades físicas del suelo y su comportamiento con las Prácticas agroecológicas en el cultivo de café un tema poco estudiado y que se cuenta con poca información, que servirá como base para determinar el comportamiento de los suelos. Según la fuente de datos es de tipo documental, pues la información se recopiló de libros, artículos científicos, revistas científicas, planes de manejo de instituciones, tesis o cualquier documento que sirva para recopilar la información y datos requeridos.

6.4. Elaboración del proyecto de investigación.

El proyecto se realizó utilizando en un inicio el método científico. Primero se identificó el problema, luego se identificaron las principales causas de la problemática posteriormente se realizó la estructuración del trabajo, iniciando con la definición del título de la investigación técnico. El cual servirá como una herramienta para aquellos productores que se dediquen al rubro del cultivo de café enfocado en un sistema agroecológico con el objetivo que conserve el medio ambiente los recursos naturales y les pueda permitir una fuente de ingresos muy rentable para que puedan mejorar su nivel de vida.

6.5. Selección del lugar.

La investigación se llevó a cabo en la finca agroecológica La Esperanza, ubicada en el cantón San Juan Buena Vista, municipio de Santa Ana, kilómetro 58 1/2 carretera panamericana departamento de Santa Ana, cuenta con una área de 14 m² de propiedad con una elevación de 725 msnm con coordenadas geográficas latitud 14°05'24'N, longitud 89°30'40'O y una

temperatura promedio anual de 23.6°C ,humedad relativa máxima de 78.9 % y una mínima de 61.1% con precipitación anual de 1,780.58 mm.

6.6. Delimitación del área de la finca.

El área seleccionada de la finca agroecológica La Esperanza está distribuida en las 14 mz de su área total tomando como base para el muestreo 19 puntos que fueron seleccionados en cuanto al intervalo de distanciamiento de 75 metros que hay entre cada punto y total de área de la finca dicho lugar reunió las condiciones ideales en cuanto al muestreo que se realizo toma de muestra para el análisis de las propiedades físicas del suelo y comportamiento del suelo en el cultivo de café.

6.7. Metodología de campo.

Esta fase consistió en realizar visitas de campo en la finca agroecológica La Esperanza en la primera visita se realizó un recorrido en toda la finca con el fin de observar que tipos de cultivos se encuentran, también se tomaron en cuenta los límites en cuanto a área de las 14 mz. Para poder determinar cuántos puntos se iban a muestrear en toda la finca el muestreo se realizó en 19 puntos los cuales fueron tomados al azar con un distanciamiento de punto entre punto de 75 metros haciendo uso del programa QGIS. En donde se delimitaron los 19 puntos en toda el área total de la finca. Delimitados los puntos se tomó la decisión de descargar la aplicación de MAppinr en el teléfono y se transformó el archivo muestreo de finca la esperanza en formato KMZ. Donde se pudieron ubicar coordenadas mediante GPS. Con exactitud el punto en donde se realizó el muestreo de suelo recolectando muestras para posteriormente determinar datos de textura de suelo, densidad aparente, profundidad efectiva porosidad, capacidad de retención de agua, velocidad de infiltración, compactación y conductividad hidráulica.

6.7.1. Profundidad efectiva en el suelo.

Procedimiento

- Realizar un agujero con un barreno hasta donde lleguen las raíces del cultivo.
- Medir con una cinta métrica la profundidad del agujero.



Foto 1 Realizando un agujero con el barreno.

6.7.2. Capacidad de velocidad de infiltración de los suelos.

Materiales:

- Juego de anillos infiltrómetros.
- Martillo de goma.
- Placa de accionamiento.
- Cronómetro.
- Ganchos.
- Regla.

Procedimiento:

1. Coloque el anillo interior con el borde de corte hacia abajo en el suelo retire pequeños obstáculos Como piedras o ramitas.
2. Coloque la placa de accionamiento en la parte superior del anillo dependiendo del diámetro el anillo se ajusta sobre entre o dentro de los pasadores que se encuentran en el lado inferior de la placa de accionamiento.
3. Use el martillo de absorción de impactos para insertar el anillo de infiltración alrededor de 5 cm verticalmente en el suelo mientras que otra persona golpea la placa de accionamiento.
4. Coloque el anillo externo con el filo hacia abajo alrededor del anillo interior y poner la placa de accionamiento en la parte superior de la misma.
5. Repita el paso 3. La forma de la placa de accionamiento se asegurará una profundidad idéntica a la del anillo interior.
6. Coloque el puente de medición con la medición de varilla y flotador en el interior anillo, llenar el anillo exterior con agua a continuación el anillo interior aproximadamente 5 - 10 cm. Inicie la medición inmediatamente Para determinar la curva de infiltración.

8. El nivel de agua dentro de los anillos de infiltración debe ser tan baja como sea posible para asegurar la infiltración vertical.
9. Asegúrese de tener suficiente agua a la mano llenar un conjunto De anillos requiere aprox. 25 litros.
10. Inicie la medición señalando la hora y el nivel de agua en el anillo interior (nivel de referencia) como se indica en la varilla de medición.
11. Determinar la caída en el nivel de agua en el anillo interior durante un cierto intervalo anote en la tabla de datos.
12. Asegúrese de que los anillos de infiltración no se vacíen durante la medición añadir agua sólo cuando hallan unos pocos centímetros de agua en los anillos.
13. Mantenga el agua en el anillo interior y exterior a un nivel similar si el nivel de agua es más alto en el anillo exterior dará lugar a una disminución en la tasa de infiltración en el anillo interior.
14. Detener la medición sólo si la tasa de infiltración ha alcanzado un valor constante. Un cambio <10% en una cierta fase es a menudo considerada como constante dependiendo del tipo de suelo esto puede ocurrir entre 1 o 2 horas, sólo en casos excepcionales después de un día.
15. Retire los anillos por medio de los ganchos.
16. Enjuague los anillos.



Foto 2. Agua del anillo interior y exterior a un nivel similar

6.7.3. Moteado de suelo.

Los moteados son manchas de diferentes colores o sombras de color intercalado con el color dominante del suelo indican que el suelo fue sujeto a condiciones de alternancia entre mojado

(reducción) y secado (oxidación). El moteado de la matriz del suelo se describe en términos de abundancia, tamaño, contraste, límite y color.

6.7.4. Compactación del suelo.

Resistencia mecánica con (penetrometro)

Procedimiento

1. Abra el programa Penetroviewer y verifique que el penetrometro está virtualmente conectado al PC en la ventana superior derecha del software.
2. Clic en el menú desplegable plan → nuevo/modificar se abrirá una ventana presione nuevo proyecto.
3. Elegir el tipo de cono se recomienda iniciar con el más pequeño, si la penetración es muy rápida cambiar por un cono más grande
4. Elegir cantidad de parcelas y cuantas penetraciones va a hacer en cada parcela
5. Clic en memoria de datos y después enviar datos aparecerá un mensaje de confirmación penetrómetro programado
6. Seleccione el lugar de medición y coloque la placa de nivel de referencia en el piso lo más nivelada posible.
7. Encienda el penetrometro y póngalo en el agujero central de la placa nivelar observando al ojo
8. Presione menú → medir → aceptar
9. Aparecerá el nombre de la parcela número de penetración y el espacio para la gráfica profundidad versus presión.
10. Presione el botón iniciar.
11. Iniciar la penetración a una velocidad constante de 2 cm / segundo.
12. Mantener la presión durante la medición y la varilla totalmente vertical.
13. Guarde la medición.
14. Cuando termina las mediciones vuelva a conectar el penetrometro al pc en el programa penetroviewer valla al menú memoria de datos → descargar datos

$$RM = \frac{F}{A}$$

La RM es la fuerza por unidad de área requerida para penetrar el suelo.



Foto 3. Midiendo la resistencia del suelo con penetrometro

6.7.5. Conductividad hidráulica.

Procedimiento:

Antes de hacer alguna medición con el permeámetro en el campo es necesario realizar una evaluación del sitio respecto su topografía y apariencia general del suelo para seleccionar las localidades representativas del suelo bajo estudio.

- 1) Preparación del agujero Se prepara un agujero de aproximadamente 6 cm de diámetro Evaluar y anotar la estratificación estructural y textural del suelo, como parte importante de la medición y reporte de las propiedades hidráulicas del sitio.
- 2) Eliminación de la capa de sellado utilizar el cepillo para remover alguna capa de suelo que impida el flujo natural del agua, lo cual se logra introduciendo y sacando este cepillo una o dos veces como máximo.
- 3) Ensamblado del permeámetro ensamble el tripié conectando los brazos trípodés a la base Asegure el tripié introduciendo la cadena en los agujeros de los brazos del tripié y cerrando dicha cadena.
- 4) Saque el reservorio y el tubo de aire inferior del estuche el tubo de aire inferior se introduce dentro del tubo soporte, Conecte el tubo de aire inferior al tubo de aire medio en la base del reservorio, usando el tubo de aire de acoplamiento empuje fuertemente el tubo de aire inferior dentro del de acoplamiento hasta que entren al interior de los broches de acoplamiento dentro de la ranura al final del tubo de aire inferior.
- 5) Deslice la base del tripié con la parte más amplia orientada hacia arriba en el exterior del

tubo soporte con la base del trípode en su lugar, deslice el tubo soporte sobre el tubo de aire, y conéctelo firmemente en el anillo que está en la parte inferior de la base del reservorio se coloca el tubo soporte dentro del tripié apoye y estabilice el permeámetro acomodando nuevamente el tripié.

- 6) Quite el tubo de aire superior que está dentro del tubo con escala de la carga de agua antes de conectar el tubo de aire superior al tubo de aire medio, asegúrese de que el indicador de la altura está en su lugar. Cuando estén conectadas todas las secciones del tubo de aire, asegúrese de que el lomo dentro del acoplamiento entre en las ranuras de los extremos de las secciones del tubo de aire.
- 7) Baje la escala de carga sobre el tubo de entrada de aire superior y asiéntelo completamente en contra de la parte inferior de la tapa del reservorio el barreno contador de la escala de carga se ajusta bien en la parte central de la tapa del reservorio. La marca “MM” de la parte superior de la escala debe ser orientada hacia arriba cuando la escala de carga se monta apropiadamente, la lectura “0” de la escala de carga estará 5 mm debajo de la parte superior de la tapa del reservorio la parte inferior del indicador de altura se alineará con la marca de 5 mm en la escala de carga.
- 8) Después de haber ensamblado el permeámetro y de haberlo montado en el tripié se procede a llenarlo con agua quite la llave de llenado de la tapa del reservorio y ajuste la válvula del reservorio de manera que la muesca esté hacia arriba o a las 12 en la posición del reloj Los reservorios interno y externo se conectan quedan listos para ser llenados.
- 9) Centre el tripié sobre el agujero en el suelo y lentamente baje el permeámetro hasta que el tubo soporte entre dentro del agujero teniendo cuidado de no acarrear residuos de suelo de los lados del agujero.
- 10). Establecer la altura de carga (H1) de 5 cm levante lentamente la punta de entrada de aire agarrando el tubo de aire superior para establecer la primera altura de carga.
- 11) Medir el flujo de salida del permeámetro primera altura de carga el flujo de salida de agua del permeámetro hacia el suelo está indicado por la velocidad de caída de agua en el reservorio.
- 12) Altura de carga H2 de 10 cm. Levante lentamente la punta de entrada de aire agarrando el tubo de aire superior para establecer la segunda altura de carga de 10 cm.
- 13) introducir los datos en la evaluación de k.



Foto 4. Ensamble de triple.



Foto 6. Medición del flujo de salida de Agua del equipo hacia el suelo.



Foto 5. Introduciendo el reservorio Inferior dentro del reservorio exterior.

6.8. Metodología de laboratorio.

6.8.1. Textura por el método de bouyoucos.

Materiales:

- Cronómetro.
- Hidrómetro estándar (ASTM -152 H).
- Dispensora mecánica con copa para suelos.
- Agitador manual con émbolo de 4 cm de diámetro o rodaje que se adapte al diámetro de la probeta.
- Frasco Lavador.
- Probeta aforada de 1000 ml.
- Termómetro.
- Pipeta de 10 ml.
- Agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio).

Procedimiento:

1. Determinar humedad gravimétrica y sobre la base de suelo seco pesar 50 g tamizados a 2mm.
2. Pasar el suelo a la copa de dispersión y agregar el agente dispersante 10 ml y agua de la llave hasta un poco por encima de la mitad de la copa y dejar en reposo unos minutos o toda la noche.
3. Someter el suelo a dispersión por 10 minutos o 15 si es de textura fina.
4. Verter el contenido de la copa a una probeta de 1000 ml y aforar con agua de la llave.
5. Agitar con el émbolo 10 veces verticalmente.

6. Tan pronto como se termine la agitación poner en marcha el cronómetro y sumergir cuidadosamente el hidrómetro en la suspensión.
7. Anotar la lectura del hidrómetro en la suspensión a los 40 segundos de haber cesado la agitación.
8. Sacar cuidadosamente el hidrómetro y tomar temperatura.
9. Dejar en reposo por dos horas y volver a tomar lectura con el hidrómetro y la temperatura.

Cálculos Las lecturas del hidrómetro deben ser corregidas en base a la temperatura que se toma en cada lectura.

$$\%Arena = 100 - \frac{\text{lectura corregida a los 40 segundos.}}{\text{peso de la muestra (g) a los } 105^{\circ}C}$$

$$\%Arcilla = \frac{\text{lectura corregida a las 2 horas} * 100.}{\text{peso de la muestra (g) a los } 105^{\circ}C}$$

$$\%limo = 100 - (\%arcilla + \% Arena)$$



Foto 7. Pesado de Muestra.



Foto 8. Agitando la mx con el embolo.



Foto 9. Sometimiento al suelo por dispersión.

6.8.2. Determinación del color de suelo.

Para la determinación del color se emplea la tabla de colores Munsell. La tabla Munsell está compuesta de hojas, representando cada matiz (Hue) específico que aparece en la parte superior derecha de la página. Cada hoja presenta una serie plaquitas o “chips” diferentemente coloreados y sistemáticamente arreglados en la hoja, que representan la claridad (Value) y la pureza (Chroma). Las divisiones de claridad (Value) se presentan en sentido vertical incrementando su

valor (haciéndose más claro) de abajo hacia arriba las divisiones de pureza (Chroma) se presentan en sentido horizontal en la parte inferior de la hoja incrementándose de izquierda a derecha.

Procedimiento:

La medición del color se realiza en el campo utilizando una muestra bajo dos condiciones secas y húmedas identificando la condición física de la muestra (agregado de suelo separado fricciónado, triturado o triturado y alisado). Para describir el color se utilizan dos parámetros: a) el color Munsell y b) la notación

6.8.3. Porosidad de un suelo.

La porosidad del suelo varía según el grado de desarrollo y el tipo de estructura que posee normalmente los suelos mejor estructurados, con un contenido apreciable de arcilla y materia orgánica poseen una porosidad en torno al 60 %. Los suelos compactados por presión o cementados poseen valores muy bajos de porosidad.

$$P = 2\left[\frac{Da}{DR}\right] * 100$$

Dónde:

P = porosidad total

Da = Densidad aparente

DR= Densidad real.

Este estudio se realizó a los primeros 30 cm de profundidad de suelo dando como resultado que los niveles de porosidad del suelo de la finca La Esperanza mantienen un margen de un rango como mínimo 47% y un máximo de 68% colocándolos en suelos con porosidad media alta y muy alta.

6.8.4. Densidad aparente.

Procedimiento por el método del cilindro.

1. Tome una muestra indisturbada de suelo.
2. Transvase el contenido a una capsula de humedad.
3. Tome el peso del suelo más la capsula.
4. Ponga la muestra de suelo a 105° C por 24 horas.
5. Tomar peso del suelo seco más la cápsula.
6. Tome el peso de la cápsula sola y realice las respectivas correcciones.

Cálculos:

Volumen del cilindro= $\pi.r^2.h$.

$$DA = \frac{\text{peso de suelo seco } 105^{\circ}\text{C}}{\text{Volumen del cilindro}}$$



Foto 10. Toma de muestra en campo.



Foto 11. Preparación de muestra.



Foto 12. Preparación de muestra.

6.8.5. Densidad real.

Materiales:

- Picnómetro.
- Termómetro.
- Balanza analítica.
- Plancha de calentamiento.
- Agua destilada.

Procedimiento:

1. Pese un picnómetro limpio y seco con tapa.
2. Introduzca más o menos 10 g de suelo secado al aire (Si se va realizar en un frasco volumétrico de 100 ml pesar 50 g de suelo).
3. Pese el picnómetro con el suelo y la tapa.
4. Adicione agua destilada al picnómetro hasta la mitad de su volumen.
5. Remueva el aire calentando suavemente hasta ebullición.
6. Enfríe el picnómetro y su contenido agregar agua destilada previamente hervida y enfriada hasta llenar el picnómetro.
7. Coloque la tapa seque el picnómetro y pese de nuevo.

8. Remover todo el contenido del picnómetro y llenarlo completamente con agua destilada hervida.

9. Seque la parte exterior y pesar.

10. Mida la temperatura del agua.

Cálculos:

$$DR = \frac{dw(Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$$

Dónde: Dr= Densidad real.

Dw=densidad del agua a la temperatura observada.

Ws=peso del picnómetro más el suelo.

Wa= peso del picnómetro vacío.

Wsw=Peso del picnómetro más suelo más agua.

Ww= peso del picnómetro más agua.



Foto 15. Muestra de suelo+agua.



Foto 14. Removiendo el aire caliente.



Foto 13. Enfrió de picnómetro.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

7.1. Profundidad efectiva en suelos de La Finca La Esperanza.

Cuadro 3. Resultados de profundidad efectiva de suelos de la finca La Esperanza.

| puntos | profundidad efectiva del suelo (cm) |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1. parte baja de la finca | 60 |
| 2. parte media de la finca | 60 |
| 3. parte alta de la finca | 60 |

Según Caballero (2019) el suelo ideal para cafetales agroecológico es el que cuenta con 50 cm de profundidad. La profundidad efectiva de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza cuenta con suelos con un rango promedio de 60 cm, de profundidad efectiva manteniéndolos en suelos ideales para cafetales agroecológicos la clasificación de estos suelos es moderadamente profundo en los tres puntos donde se realizó el muestreo parte baja, parte media y parte alta de la finca.

7.2. Capacidad de velocidad de infiltración de los suelos de La finca La Esperanza.

7.2.1. Infiltración de agua en el suelo parte baja de la finca La Esperanza

Cuadro 4. Infiltración del agua en el suelo parte baja de la finca agroecológica La Esperanza.

| puntos | Tiempo acumulado | Lectura | Lámina (cm) | | Infiltración (cm/h) |
|--------------------------|------------------|---------|-------------|-----------|---------------------|
| | (Minuto) | (cm) | periodo | acumulada | acumulada |
| 1 parte baja de la finca | 5 | 10 | | 0 | - |
| | | | 4 | | |
| | 10 | 6 | | 4 | 24 |
| | | | 1.1 | | |
| | 15 | 4.9 | | 5.1 | 20.4 |
| | | | 0.5 | | |
| | 20 | 4.4 | | 5.6 | 16.8 |

Según Avidan (1999) los suelos con intervalos de velocidad de (12 -25 cm/hr) son suelos bien drenados.

para fines de explicar y modelar el proceso de infiltración los datos son insuficientes de manera que no permite conocer a profundidad el fenómeno pero para este caso por tratarse de una investigación exploratoria, se puede argumentar sobre la infiltración que ocurre en los primeros 20 minutos en un suelo la relación velocidad de infiltración y drenaje del suelo de la finca agroecológica La Esperanza en este estudio se tomó como base los primeros 20 minutos infiltrándose una carga de agua de 16.8 cm/ hora en el perfil del suelo. Según como se observa en el cuadro en este punto la infiltración del agua en el perfil del suelo se produce más lenta por el fenómeno que el suelo ya se encuentra a capacidad de campo. Este drenaje tiene la característica de que el agua desaparece del suelo fácilmente pero no tan rápido, la textura que se encuentra en este tipo de suelo son moderadamente livianos, con velocidad de infiltración de clase rápida.

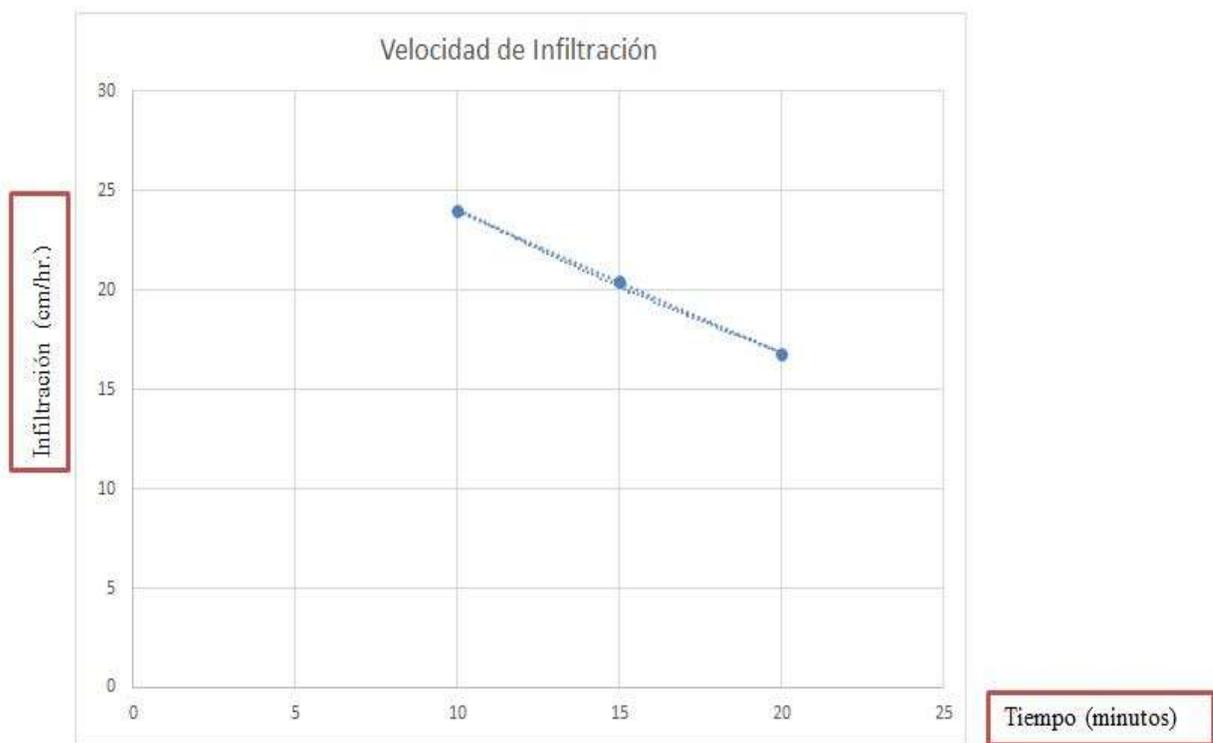


Figura 4. gráfico de comportamiento de la velocidad de infiltración del agua en el suelo de la finca agroecológica La Esperanza.

La infiltración en la capa superficial del suelo para este gráfico los datos son insuficientes solo demuestran un comportamiento decreciente que es el comportamiento típico de la velocidad de infiltración.

7.2.2. Infiltración de agua en el suelo parte alta de la finca La Esperanza.

Cuadro 5. Infiltración del agua en el suelo parte alta de la finca agroecológica La Esperanza.

| puntos | Tiempo | Lectura | Lámina (cm) | | Infiltración (cm/h) |
|--------------------------|----------|---------|-------------|-----------|---------------------|
| | (Minuto) | (cm) | periodo | acumulada | acumulada |
| 2 parte alta de la finca | 5 | 6 | | 0 | - |
| | | | 0.3 | | |
| | 10 | 5.7 | | 0.3 | 1.8 |
| | | | 0.5 | | |
| | 15 | 5.2 | | 0.8 | 3.2 |
| | | | 0.3 | | |
| | 20 | 4.9 | | 1.1 | 3.3 |

Según Avidan (1999) los suelos con intervalos de velocidad de (2.0-6.0 cm/hr) son suelos de drenaje imperfecto

Según el cuadro 5. Para fines de explicar y modelar el proceso de infiltración, los datos son insuficientes de manera que no permite conocer a profundidad el fenómeno pero para este caso por tratarse de una investigación exploratoria se puede argumentar sobre la infiltración que ocurre en los primeros 20 minutos en un suelo, La relación velocidad de infiltración y drenaje del suelo de la finca agroecológica La Esperanza en este estudio se tomó como base los primeros 20 minutos infiltrándose una carga de agua de 3.3 cm/hr. Indicando que el agua desaparece en forma lenta y el suelo está saturado por largos periodos en el año. La textura que se encuentra en Este tipo de suelo es media con velocidad de infiltración de clase moderada.

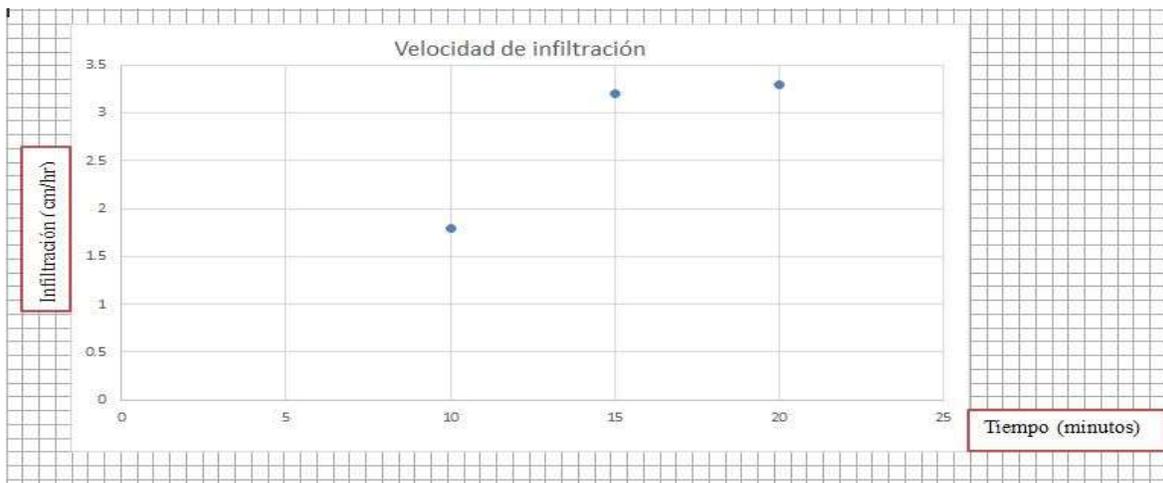


Figura 5. gráfico del comportamiento de velocidad de infiltración del agua en el suelo de la finca agroecológica La Esperanza.

La infiltración en la capa superficial del suelo para el gráfico 5 los datos son insuficiente y el comportamiento es errático, atípico, que denota una inestabilidad del proceso que debe de tenerse más datos o más duración de la prueba para lograr el comportamiento decreciente.

7.3. Textura de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza.

7.3.1. Limo + arcilla.

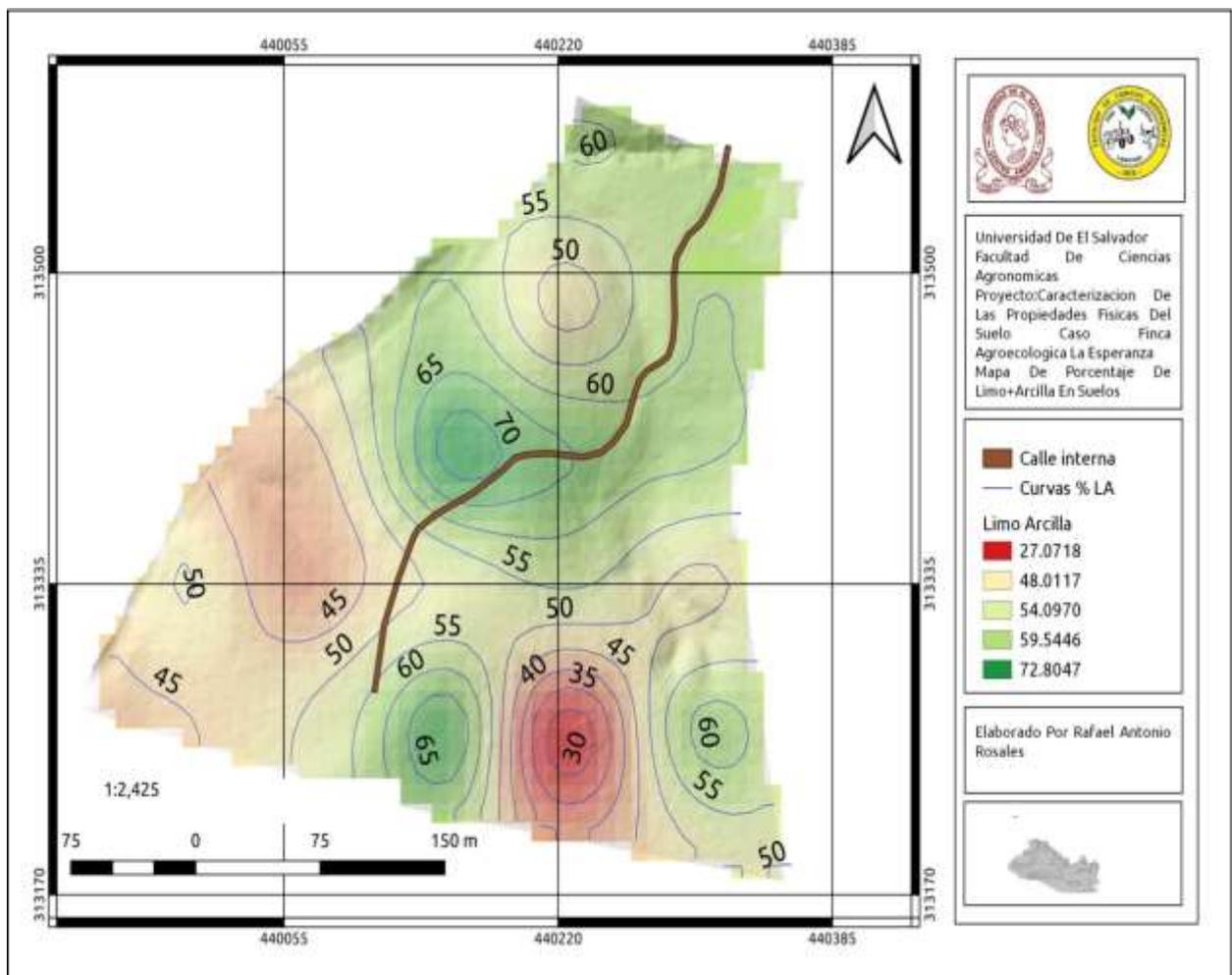


Figura 6. Mapa porcentaje de limo+ arcilla en suelos de finca agroecológica La Esperanza.

FAO (2010) hace hincapié que los suelos con más partículas de limo+arcilla tienen la característica que estos ofrecen menos resistencia al romperse. Se puede observar en el mapa que el lugar que refleja coloración verde más oscuro, el tipo de suelo de esa zona presenta más contenido de partículas de limo+arcilla, con un porcentaje de 65 a 72%. Pero con poca área dentro de la finca. Los sitios de coloración verde claro entre amarillo estos suelo, posee según el mapa mayor cantidad de área con un porcentajes de partículas limo+arcilla de 50 a 60 %. De su contenido.

Los sitios de coloración rojo son los que poseen menor cantidad de limo+ arcilla y dentro del mapa solo se puede observar en tres lugares, sus porcentajes de partículas en el suelo oscilan entre 27 a 45%.

7.3.2. Arcilla.



Figura 7. Mapa porcentaje de arcilla en suelos de la finca agroecológica La Esperanza.

Según FAO (2010) los suelos con más partículas de arcilla ofrecen más resistencia a romperse.

Se puede observar en el mapa que el lugar que refleja coloración verde oscuro el tipo de suelo de esta zona presenta más contenido de partículas de arcilla con un porcentaje arriba del 50%. Pero con pocas áreas dentro de la finca.

Los sitios de coloración verde claro son los que presentan mayor cantidad de área de suelo en la finca con valores de 30 a 45 %. De partículas de arcilla.

Los sitios de coloración blanco con pequeñas tonalidades de verde claro son las áreas dentro de la finca que poseen menos cantidad de partículas de arcilla oscilando en rangos menores del 30%. De contenido de arcilla en el suelo.

7.3.3. Limo.

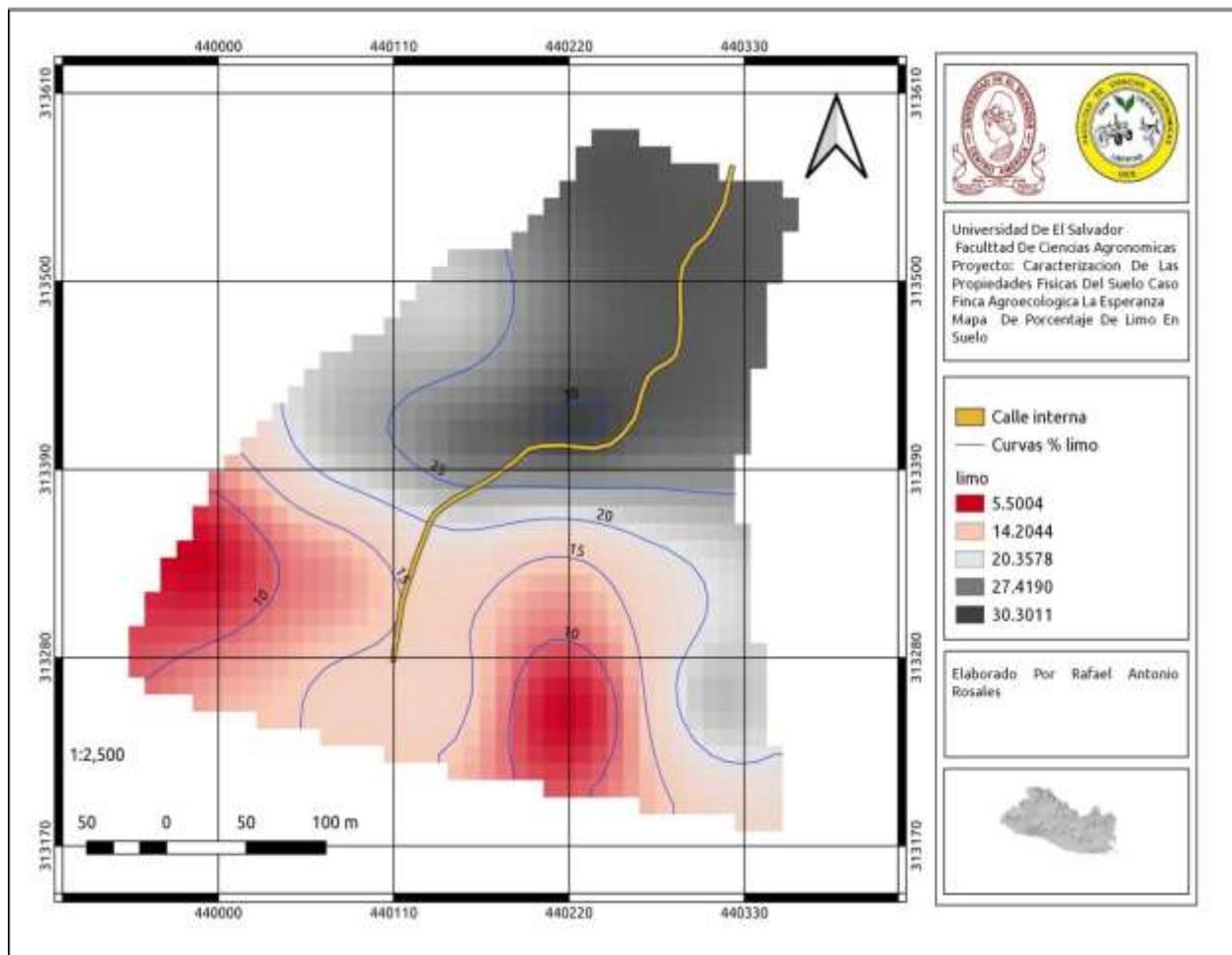


Figura 8. Mapa porcentaje de limo en suelos de la finca agroecológica La Esperanza.

Según FAO (2010) los suelos con más partículas de limo tienen la característica que su plasticidad es más inestable.

Se puede observar en el mapa que el lugar que refleja coloración gris más intenso el tipo de suelo de esa zona presenta más contenido de partículas de limo con porcentajes arriba de 30% Pero con pocas áreas dentro de la finca.

Los sitios de coloración gris claro y rosado pálido según como se puede ver en el mapa son los que presentan mayor cantidad de área de suelo en la finca con valores de 27 a 14%. De partículas de limo.

Los sitios de coloración rojo dentro del mapa son áreas en donde el suelo presenta valores menores del 5% de contenido de partículas de limo

7.3.4. Arena.

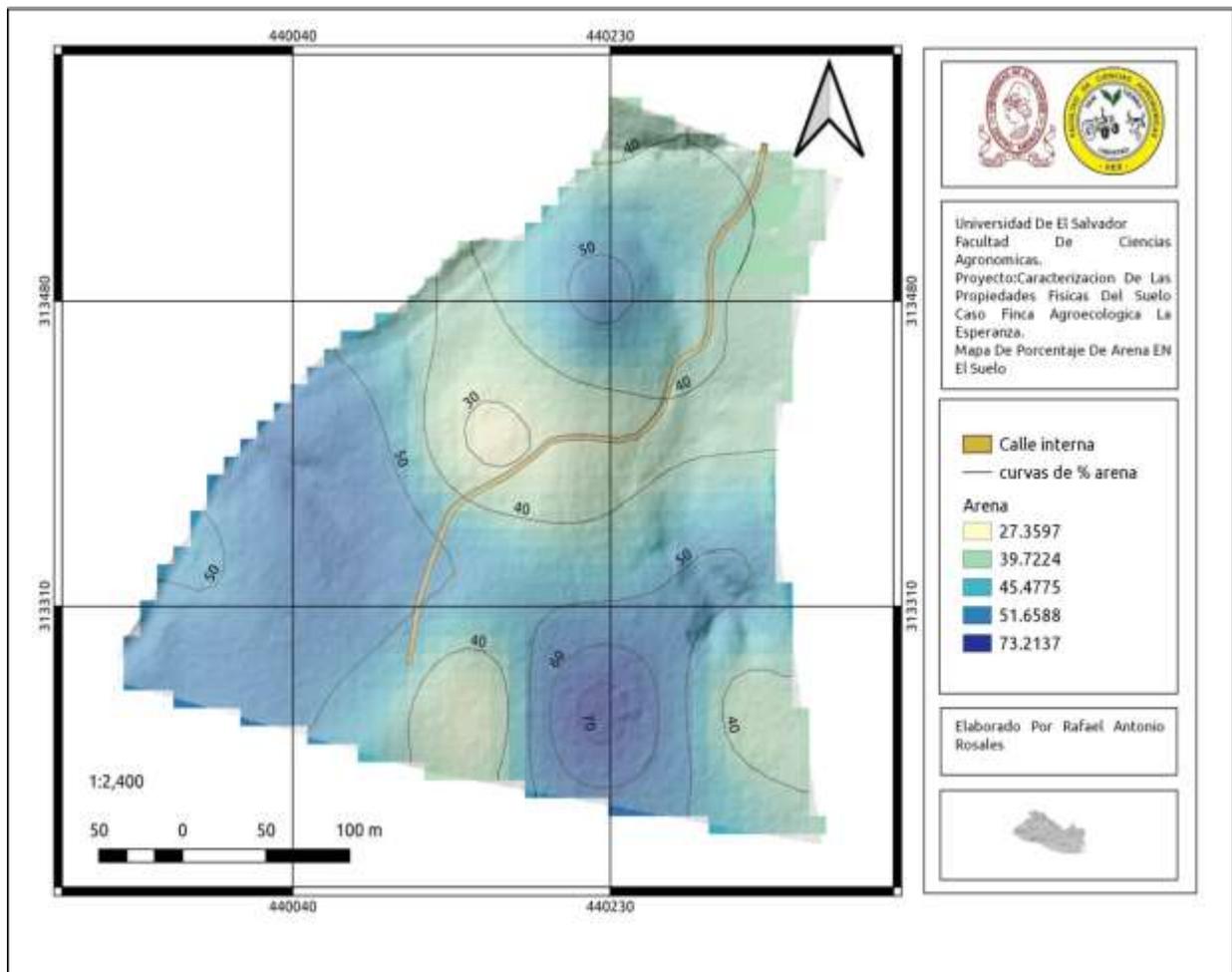


Figura 9. Mapa de porcentaje de arena en suelos en finca agroecológica La Esperanza.

FAO (2010) hace mención que lo suelos con más partículas de arena tienen la característica de ser muy sueltos y retienen pocos nutrientes.

Según el mapa se ve que el lugar que refleja coloración azul más intenso el tipo de suelo de esa zona presenta más contenido de partículas de arena, con un porcentaje arriba del 70% pero con pocas áreas dentro de la finca. Los sitios de coloración azul claro según como se puede ver

en el mapa son los que presentan mayor cantidad de área de suelo en la finca con valores de 40 a 60 % de partículas de arcilla. Los sitios de coloración crema son los suelos que poseen áreas con valores menores del 10% de contenido de partículas de arena.

7.3.5. Textura de los suelos.

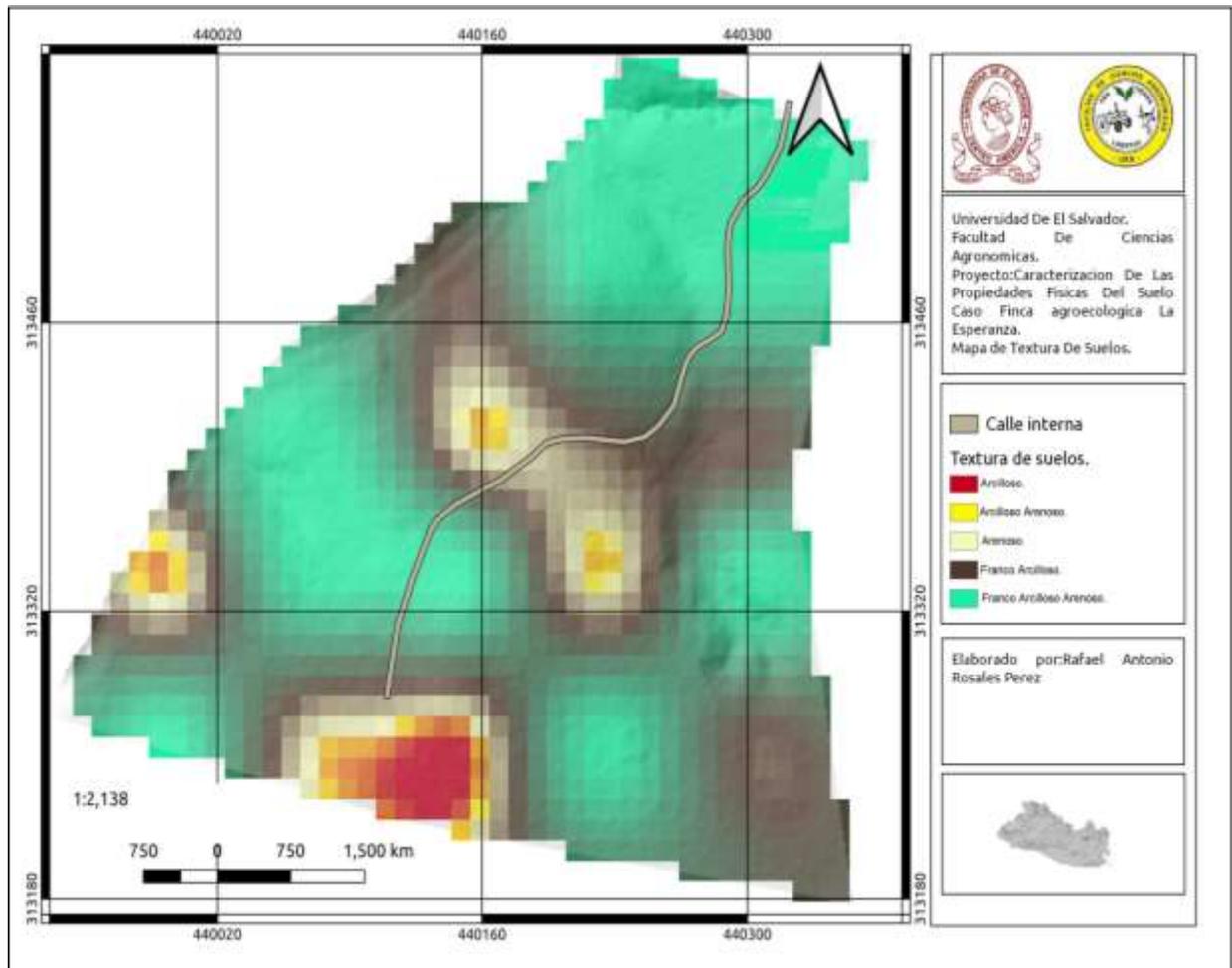


Figura 10.Mapa de textura de suelos de la finca agroecológica La Esperanza.

Según CATIE (2006) la textura óptima del suelo para el cultivo de café con manejo orgánico son los suelos de textura franco y suelos franco arcillosos arenosos. Adaptándose también a suelos de textura francos arcillosos arenosos, francos arenosos, arcillosos arenosos y arcillosos.

Según el mapa el suelo que más predomina en la finca agroecológica la Esperanza es el de textura franco arcilloso arenoso de tonalidad color verde abarcando un 53% del área de la finca, estos suelos tienen la característica que en época seca al aplicarle una carga de agua se infiltra

rápido pero en época lluviosa el agua se tarda en infiltrar al suelo y en ocasiones poder anegarse por la permeabilidad y movimiento horizontal del agua en el suelo. Los suelos franco arcillosos según el mapa son los de tonalidad color café abarcando un área de 21.1% del área total de la finca. En la finca existen áreas en donde se pueden encontrar suelos de textura arenosa predominando en un 10.59% del área total de la finca observándose en el mapa aquellas áreas de tonalidad color crema. La tonalidad de color amarillo en el mapa hace referencia a las áreas de la finca donde se encuentran suelos de textura arcilloso arenoso abarcando un 10.1% del área total de la finca.

Se puede observar en el mapa de textura que los suelos en menor dominancia son aquellos de textura arcillosa tonalidad color rojo en mapa abarcando un área de 5.29% de la totalidad de toda la finca La Esperanza.

Domínguez (2012) manifiesta que la finca agroecológica La Esperanza Presenta suelos de tipo azacualpa estos suelos pertenece al gran grupo latosol arcillo rojizo, en estos suelo, Las capas superficiales son de textura franca a franco arcillosa, de color café muy oscuro y de estructura granular, los subsuelos son arcillosos con estructura en bloques fuertes y con películas de arcilla, de color café oscuro a café rojizo oscuro, bastante desarrollados y profundos.

7.4. Determinación del color de suelo.

Cuadro 6. Determinación de color de suelo de la finca agroecológica La Esperanza

| Código Raa-# de muestra | Munsell | | Color |
|----------------------------|---|--|------------------|
| | Muestra en estado seco | Muestra estado húmedo | |
| Raa-mx2 | Munsell value: 2.5R3/6 SRGB:R=111G=55B=33 | Munsell value:2.5R2/4 SRGB:R=75G=38B=29 | Marron |
| Raa-mx4 | Munsell value:10YR 4/4 SRB:R=119 G=91 B=55 | Munsell value:5YR 2/1 SRB:R=56G=47B=43 | Marrón fuerte |
| Raa-mx6 | Munsell value :2.5R3/6 SRGB:R=111G=55B=33 | Munsell value:2.5R2/4 SRGB:R=75G=38B=29 | Marron |
| Raa-mx8 | Munsell value:10YR 4/4 SRGB:B=119G=91B=55 | MUnsell value :10YR2/2 SRGB:R=60G=46B=33 | Marron fuerte |
| Raa-mx10 | Munsell value:10YR4/3 SRGB:R=115G=92B=65 | Munsell value :10YR 2/2 SRGB:R=6G=46B=33 | Marron Fuerte |
| Raa-mx12 | Munsell value :7.5YR 4/4 SRGB:R=123G=59 | Munsell Value:7.5YR2/2 SRGB:R=61 G=45B=35 | Marron fuerte |
| Raa-mx14 | Munsell value:2.5R3/4 SRGB:R=101G=61B=47 | Munsell value :10R 2/1 SRGB:R=57G=46B=45 | Marron |

USDA (2012) hace mención a que el color en un suelo agrícola según su tonalidad está asociado a los componentes minerales y orgánicos.

En la tonalidad de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza, se observan dos tipos de colores bien pronunciados el color marrón y marrón fuerte.

El color marrón fuerte está muy asociado a estados iniciales a intermedios de alteración del suelo se relaciona con niveles medios o bajos de materia orgánica en general se asocia con la ocurrencia de materia orgánica acida parcialmente descompuesta y combinaciones de óxidos de Fe más materiales orgánicos.

Los suelos de color marrón de la finca agroecológica La Esperanza indican que se está realizando procesos de meteorización bajo ambientes aeróbicos y se relacionan con condiciones de media a baja fertilidad del suelo se asocia con la presencia de óxidos hidratados de Fe^{3+} .

7.5. Moteado del suelo.

Cuadro 7. Porcentaje de la cantidad de moteado en suelos de la finca La Esperanza.

| Código Raa-# De Muestra | Abundancia De Moteados (%) | Tamaño De Los Moteados |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Raa-mx1 | 0 | 0 |
| Raa-mx2 | 0 | 0 |
| Raa-mx3 | 0 | 0 |
| Raa-mx4 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx5 | 0 | 0 |
| Raa-mx6 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx7 | 0 | 0 |
| Raa-mx8 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx9 | 0 | 0 |
| Raa-mx10 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx11 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx12 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx13 | 0 | 0 |
| Raa-mx14 | 0 | 0 |
| Raa-mx15 | 0 | 0 |
| Raa-mx16 | 0-2 | 2-6 |
| Raa-mx17 | 0 | 0 |

Sena (2013) enuncia que los moteados son manchas de diferentes colores o sombras de color intercalado con el color dominante del suelo. Indican que el suelo fue sujeto a condiciones de

alternancia entre mojado (reducción) y secado (oxidación) según su abundancia los clasifica como en ninguno, muy poco, poco, mucho, abundante.

El moteado en el suelo fue poco y según la clasificación en tablas el moteado de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza, andan en un rango de porcentaje de 0-2 % de color marrón y está relacionado con niveles muy pocos esto se debe al poco porcentaje de materia orgánica y un rango muy variable en fertilidad este tipo de moteados solo se pueden visualizar cuando se realiza un estudio detallado.

7.6. Porosidad total del suelo.

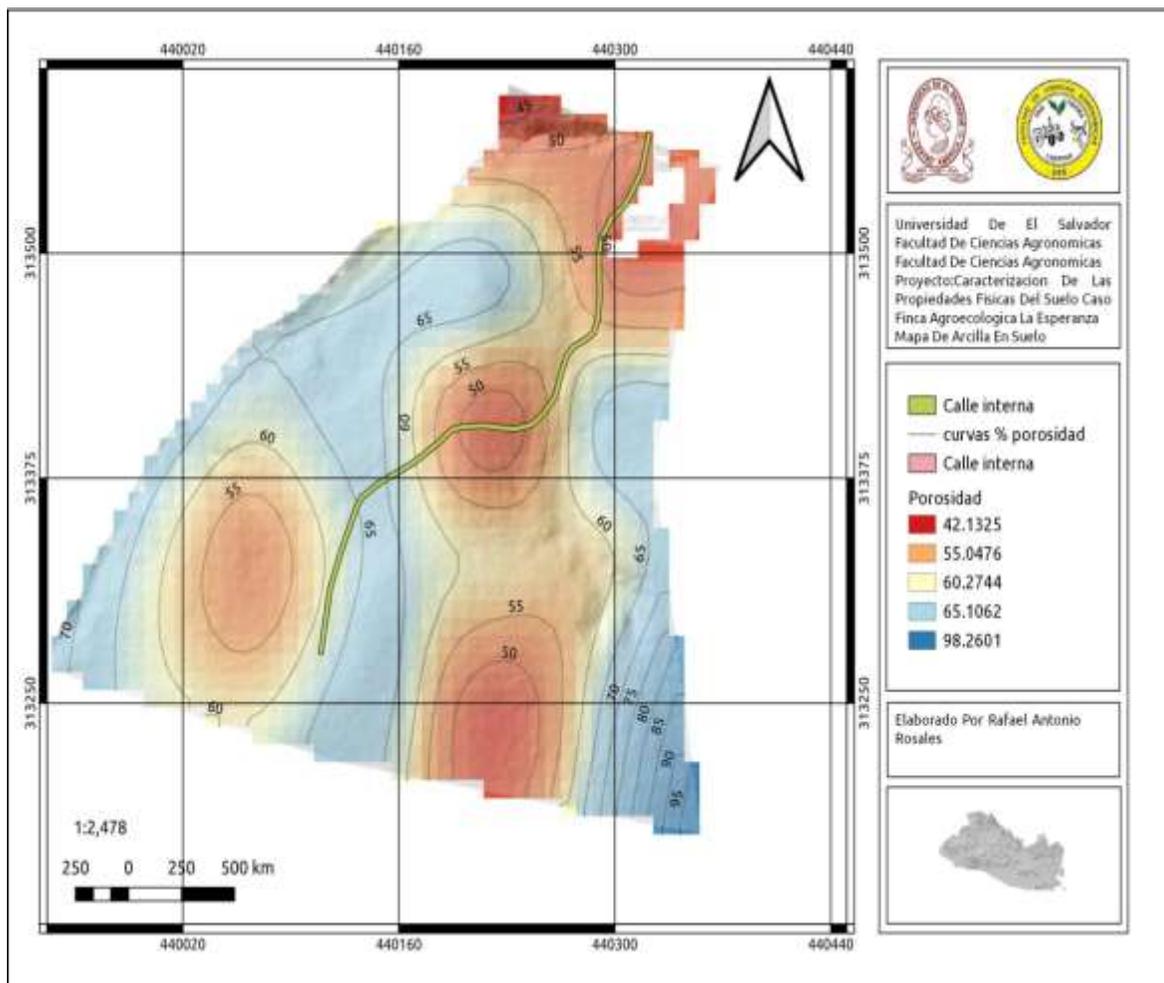


Figura 11. Mapa de porosidad total en suelos en finca agroecológica La Esperanza.

Larios (2014) manifiesta que la porosidad de un suelo varía según el grado de desarrollo y por el tipo de estructura que posee, los suelos mejor estructurados con contenido apreciable de arcilla o materia orgánica poseen una porosidad en torno al 60%.

Este estudio se realizó a los primeros 30 cm de profundidad de suelo dando como resultado que los niveles de porosidad del suelo de la finca La Esperanza mantienen un margen de un rango como mínimo 47% y un máximo de 68% colocándolos en suelos con porosidad media alta y muy alta.

Según como se observa en el mapa los sitios con color azul son las áreas con mayor porcentaje de porosidad en el suelo en la finca agroecológica la Esperanza con rangos de porosidad mayor del 65%.

Los sitios de coloración amarillo con tonalidades pocas de rojo claro según como se puede ver en el mapa en estas áreas los suelos presentan de 47 a 60% de porosidad.

Los sitios reflejados de coloraciones rojo dentro del mapa son los que se encuentran con un bajo porcentaje de porosidad dentro de la finca en rangos menores del 47% de porosidad.

7.6.1. Valores discretos de macroporosidad y microporosidad en el suelo.

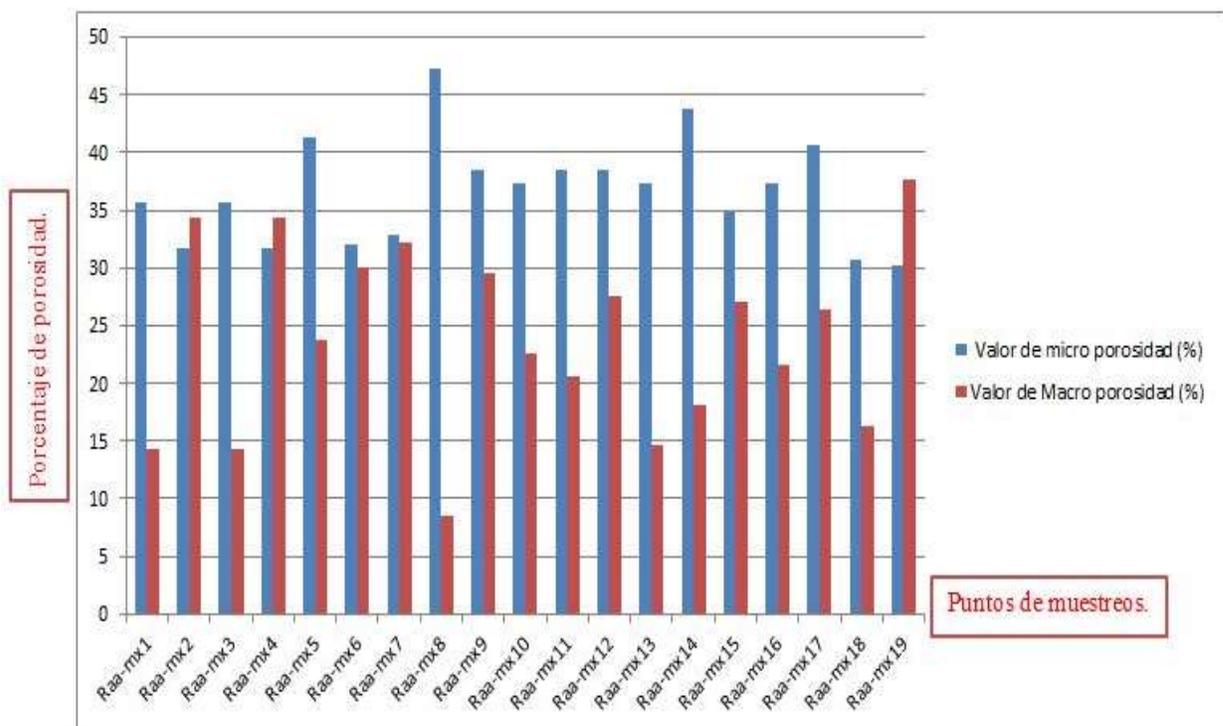


Figura 12. grafico de valores discretos de macroporosidad y microporosidad en el suelo de la finca La Esperanza.

En el grafico se pueden observar como es el comportamiento de los valores discretos de microporosidad y macroporosidad de la finca agroecológica La Esperanza y en cuales puntos es mayor el porcentaje de porosidad como son los puntos de muestreo 2, 3, 19 (ver cuadro de

anexos 10). Según Lasluisa (2020) la microporosidad es la responsable de la retención del agua en el perfil del suelo. La discrepancia promedio entre los valores de microporosidad y macro porosidad andan en promedio en un rango del 12% de porosidad en la Finca Agroecológica La Esperanza.

7.7. Densidad aparente.

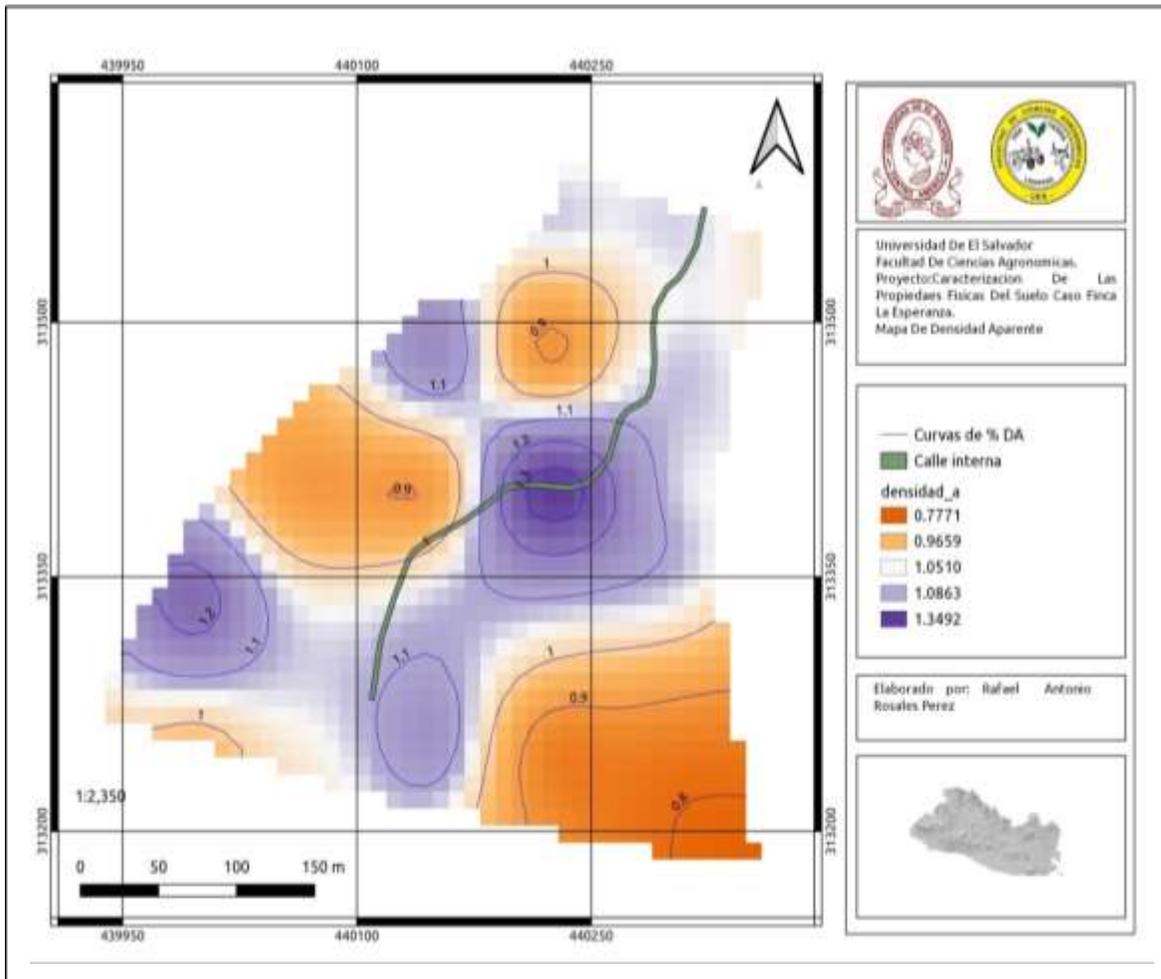


Figura 13. Mapa de densidad aparente de suelos de finca agroecológica La Esperanza. Sena (2013) hace mención que la densidad aparente depende de la materia orgánica, la textura del suelo, la densidad de las partículas minerales del suelo (arena, limo y arcilla) y su disposición. Según el mapa el sitio de tonalidad de color morado presenta los niveles de densidad aparente altos dentro de la finca, sitio de muestreo 8 (ver cuadro anexo 11). Caracterizándolo como suelos francos. Los sitios de tonalidad morado claro, blanco y anaranjados presentan niveles de densidad aparente cercanos al valor de 1.0 según Hargreaves (1985) estos son suelos con un alto contenido de partículas de arcilla. La densidad aparente de los suelos de la finca

agroecológica La Esperanza se mantiene en rangos 0.89 g/cc-1.34g/cc. Suelos ideales para el crecimiento de las raíces de las plantas la densidad aparente tiene mucha relación, con la porosidad del suelo a medida aumenta la porosidad de un suelo la densidad aparente va disminuyendo y a medida la densidad aparente va aumentando la porosidad va disminuyendo.

7.8. Densidad real.

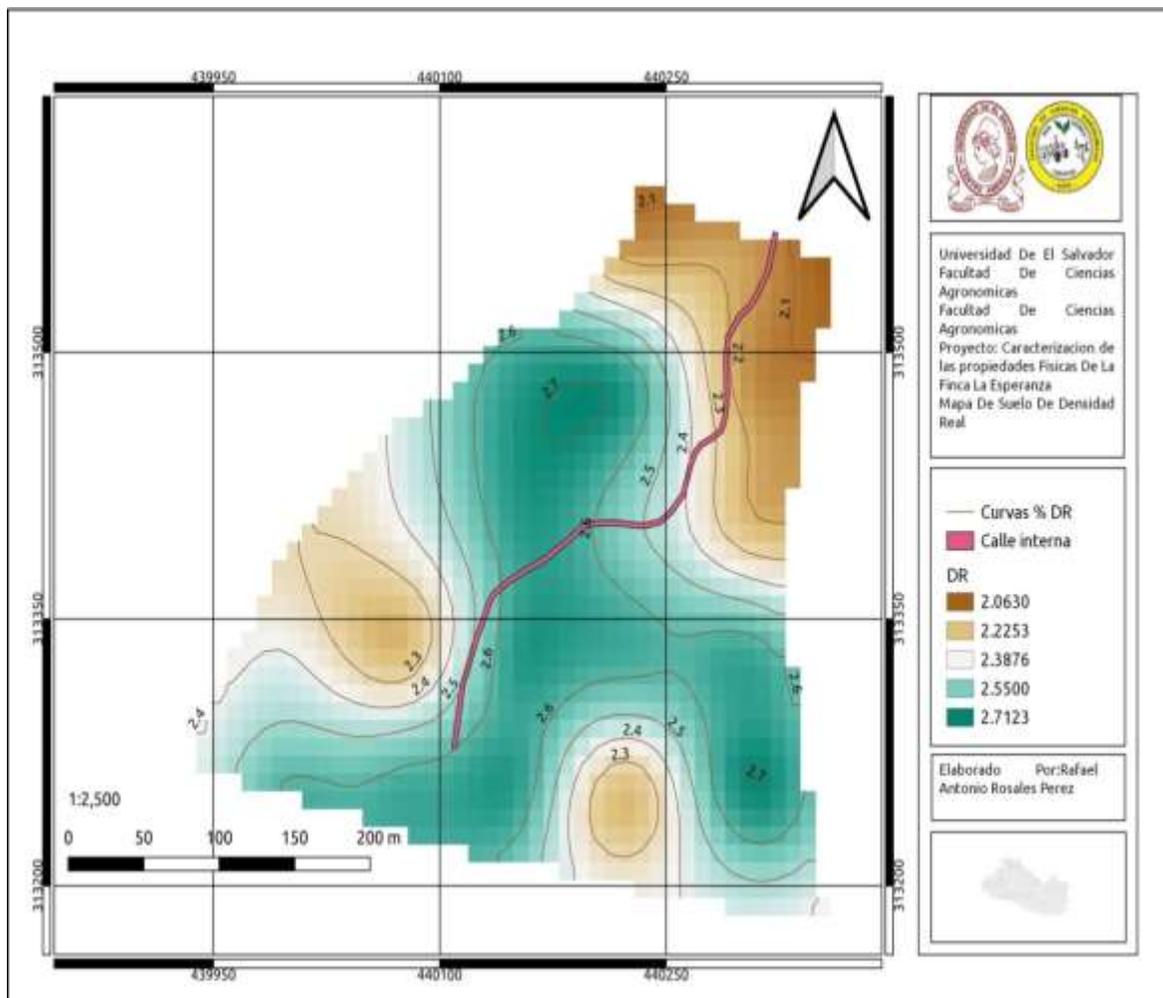


Figura 14. Mapa de densidad real en suelos de finca agroecológica La Esperanza.

Sena (2013) hace mención que la densidad real se refiere a la densidad de la totalidad de las partículas disueltas en el suelo y esta tiene relación entre la masa de partículas sólidas y el volumen del sólido, al aumentar el contenido de materia orgánica se reduce la densidad real de los suelos, uno de los parámetro que se utiliza como valor de referencia es la densidad del cuarzo que es 2.65 g/cm^3 .

Se puede observar en el mapa que los sitios de tonalidades color verde oscuro son los lugares que presentan mayores niveles de densidad real. La densidad real de los sitios de muestreo 4,

5, 7, 12, 17,19 (ver cuadro de anexos 13) de la finca agroecológica La Esperanza está por arriba de ese valor indicando que a este suelo le hace falta incorporarle materia orgánica a pesar de que en algunos puntos, se puede observar una gran cantidad de hojarasca de café pero está todavía no se ha transformado en humus. A medida baja la densidad del dato 2.65 g/cm^3 así va aumentando la cantidad de materia orgánica que posee el suelo.

La densidad real según el mapa de los sitios de muestreo de tonalidad color verde claro, blanco, y café claro de la finca agroecológica La Esperanza están por abajo del valor de 2.65 g/cm^3 esto indica que a aumentando la cantidad de materia orgánica de estos sitios en donde se encuentran los puntos en donde se realizaron los muestreos Indicando que en estos puntos existe suelo de buena calidad en fertilidad en donde el agro ecosistema café es auto suficiente para mantenerse en equilibrio

7.9. Compactación del suelo.

7.9.1. Compactación de suelo en PSI. A 30 cm de profundidad.

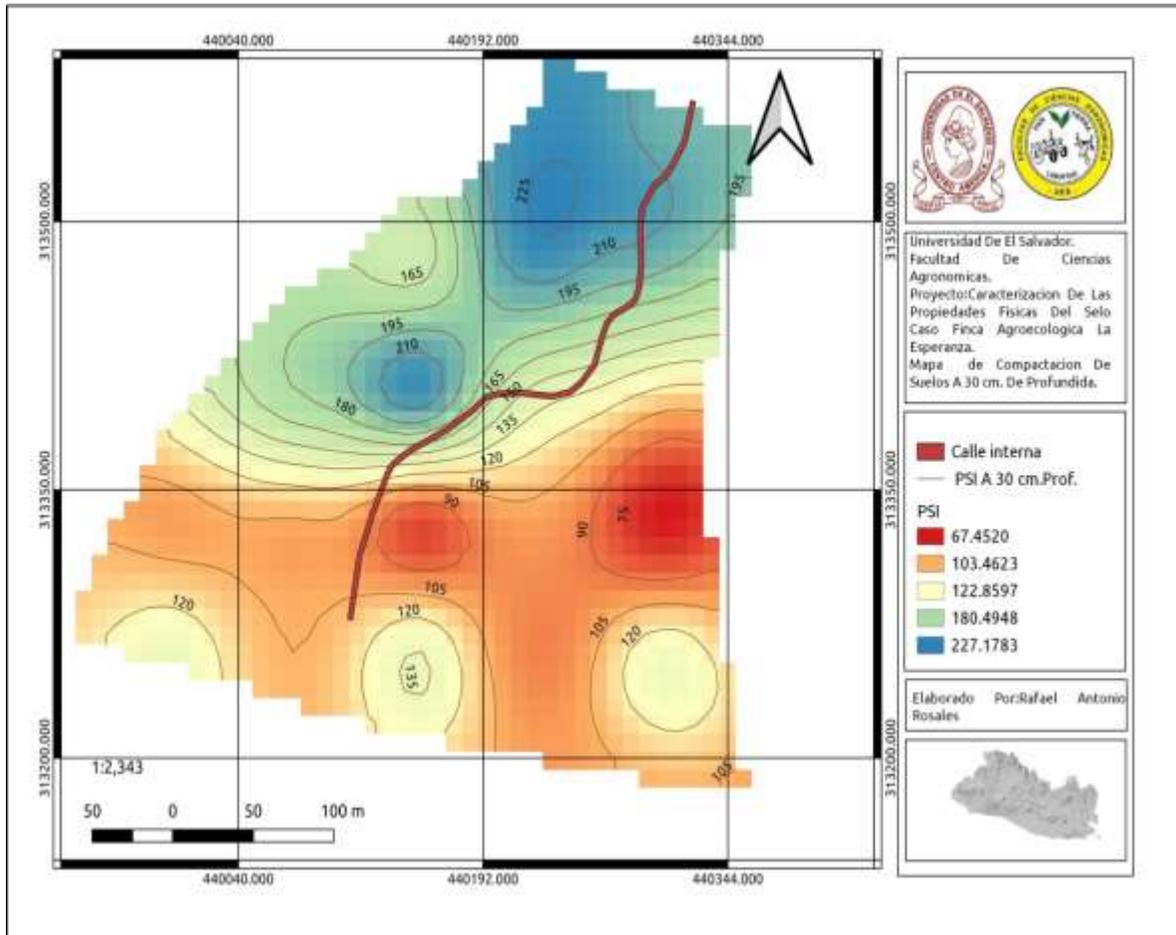


Figura 15. Mapa de compactación de suelo en PSI a una profundidad de 30 cm. de La finca agroecológica La Esperanza

El valor de compactación de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza en PSI es un dato promedio tomado a una profundidad de 30 cm. Según el mapa los puntos con tonalidad color azul tienen valores de compactación superiores a 200 PSI. Según Pallarez (2019) suelos con niveles de compactación

Los sitios según mapa con tonalidad de colores verde, amarillo, anaranjado y rojo son los Suelos que presentan valores menores de 200 PSI a una profundidad promedio de 30 cm. Según Pallarez (2019) estos suelos presentan valores indicados para el desarrollo radicular

7.9.2. . Compactación de suelo en PSI. A 60 cm de profundidad.

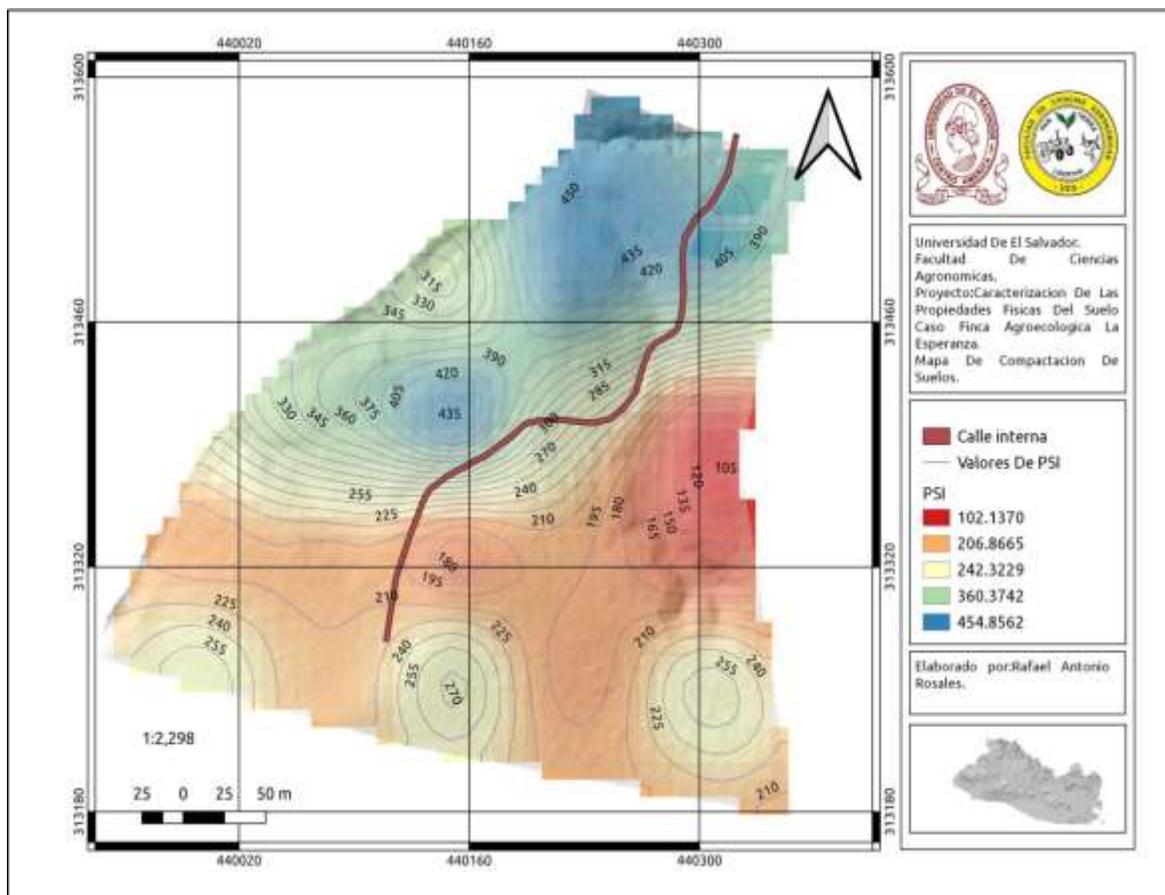


Figura 16 Mapa de compactación de suelo en PSI a una profundidad de 60 cm. de La finca agroecológica La Esperanza

El valor de compactación de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza en PSI es un dato promedio tomado a una profundidad de 60 cm. Según el mapa los puntos con tonalidad color azul y verde claro tienen valores de compactación superiores a 300 PSI. Según pallarez (2019) suelos con valores arriba a este dato se clasifican como suelos que tienen una compactación alta.

Los sitios según mapa con tonalidad de colores anaranjado y rojo son los suelos que presentan valores menores de 200 PSI. Según Pallarez (2019) estos suelos presentan valores indicados para la siembra de cualquier cultivo.

La resistencia mecánica de los suelos sueltos no interviene en el desarrollo a la penetración de las raíces del cultivo de café pero se puede observar la poca presencia de organismo como es el caso de las lombrices de tierra que realizan un efecto de soltura del suelo.

La resistencia mecánica de estos suelos de la finca agroecológica La Esperanza está muy relacionada con la densidad aparente y porosidad, dependiendo de la incorporación de más materia orgánica al suelo va a mejorar la porosidad aumentando, el volumen de la masa suelo disminuyendo más el nivel de compactación en el suelo.

7.10. Conductividad hidráulica.

7.10.1. Punto 1. Toma de conductividad hidráulica (ver anexo 16)

La conductividad hidráulica de un suelo es una medida que señala la capacidad de un suelo de permitir el paso de fluidos a través de su estructura, generalmente el agua si un suelo está en óptimas condiciones la conductividad hidráulica va a ser rápida pero si no está en óptimas condiciones esta va a realizarse muy lenta.

El primer muestreo se realizó en la parte baja de la finca agroecológica La Esperanza a una profundidad de 40 cm y un diámetro de 6 cm con un nivel de agua en el agujero de h_1 de 5 cm y h_2 de 10 cm, con el equipo permeámetro de Guelph. Al realizar la toma de datos y su evaluación se observó que el movimiento del agua en el suelo era muy lenta o casi nula debido a los siguientes factores tipo de suelo arcilloso poca materia orgánica en la zona y el suelo muy compactado a pesar que este estaba en las condiciones adecuadas para la realización del muestreo ya que días antes habían caído unas lluvias según lo manifestó el propietario de la finca.

Para poder mejorar las condiciones de la conductividad hidráulica de este tipo de suelo se debe de tener que incorporar materia orgánica y realizar obras de conservación de suelo con el objetivo que se pueda infiltrar el agua a las capas más bajas del suelo y en época de verano esta pueda ser aprovechada por el sistema radicular del cultivo de café.

7.10.2. Punto 2. Toma de conductividad hidráulica. (Ver anexo 17)

La conductividad hidráulica de un suelo es una medida que señala la capacidad de un suelo de permitir el paso de fluidos a través de su estructura, generalmente el agua si un suelo está en óptimas condiciones la conductividad hidráulica va a ser rápida pero si no está en óptimas condiciones esta va a realizarse muy lenta.

El segundo muestreo se realizó en la parte media de la finca con el aparato permeámetro de Guelph. A una profundidad de 50 cm y un diámetro de 6 cm con un nivel de agua en el agujero de h_1 de 5 cm y h_2 de 10 cm, al realizar la toma de datos y su evaluación se observó que el movimiento del agua en el suelo era muy lenta o casi nula debido a los siguientes factores que se observaron muy parecidos a los del muestreo uno, como es el tipo de suelo arcilloso, poca materia orgánica en la zona y un suelo muy compactado el cual no permitió que la carga de agua que se le estaba aplicando no se pudiera infiltrar a pesar que este estaba en las condiciones adecuadas para la realización del muestreo ya que días antes habían caído unas lluvias según lo manifestó el propietario de la finca.

Para poder mejorar las condiciones de la conductividad hidráulica de este tipo de suelo se debe, tener que incorporar materia orgánica y realizar obras de conservación de suelo con el objetivo que se pueda infiltrar el agua a las capas más bajas del suelo y se pueda movilizar de manera vertical, mediante los macros y micro poros y en época de verano esta pueda ser aprovechada por el sistema radicular del cultivo de café.

7.10.3. Punto 3. Toma de conductividad hidráulica (ver anexo 18)

La conductividad hidráulica de un suelo es una medida que señala la capacidad de un suelo de permitir el paso de fluidos a través de su estructura, generalmente el agua si un suelo está en óptimas condiciones la conductividad hidráulica va a ser rápida pero si no está en óptimas condiciones esta va a realizarse muy lenta.

El tercer muestreo se realizó en la parte alta de la finca agroecológica La Esperanza, con el aparato permeámetro de Guelph. A una profundidad de 60 cm y un diámetro de 6 cm con un nivel de agua en el agujero de h_1 de 5 cm y h_2 de 10 cm, al realizar la toma de datos y su evaluación se observó que el movimiento del agua en el suelo era muy lenta o casi nula debido a los siguientes factores que se observaron muy parecidos a los del muestreo uno y dos como es el tipo de suelo franco arcilloso arenoso, poca materia orgánica en la zona y un suelo muy compactado el cual no permitió que la carga de agua que se le estaba aplicando no se pudiera

infiltrar a pesar que este estaba en las condiciones adecuadas para la realización del muestreo ya que días antes habían caído unas lluvias según lo manifestó el propietario de la finca.

Para poder mejorar las condiciones de la conductividad hidráulica de este tipo de suelo se debe de tener que incorporar materia orgánica y realizar obras de conservación de suelo con el objetivo que se pueda infiltrar el agua, a las capas más bajas del suelo y se pueda movilizar de manera vertical mediante los macros y micro poros y en época de verano esta pueda ser aprovechada por el sistema radicular del cultivo de café.

VIII CONCLUSIONES.

Los suelos de la finca agroecológica La Esperanza poseen niveles de profundidad efectiva de 60 cm, adecuados para que se desarrolle el sistema radicular del cultivo de café y frutales en sus óptimas condiciones.

Para fines de explicar el proceso de infiltración los datos son insuficientes de manera que no permitieron conocer a profundidad el fenómeno pero por tratarse de una investigación exploratoria se pueden tomar la infiltración a los 20 minutos. De tiempo en la parte baja y parte alta de la finca.

Para que mejore la infiltración de agua en el suelo en las épocas críticas de mucha lluvia en la finca agroecológica La Esperanza se debe de incorporar más materia orgánica y esta tenga la función de un amortiguador de la gota de lluvia y no erosione, se recomienda realizar obras para interceptar el flujo de la corriente superficial.

La textura del suelo en su mayoría es franco arcillo arenoso suelos muy adecuados para el cultivo existente pero se requiere que se realice obras de conservación de suelos e incorporación de material orgánico para que este no se erosione y lleve la producción al 100% de su rendimiento.

El color marrón fuerte en el suelo indica que existe materia orgánica acida parcialmente descompuesta la cual no es mala y combinaciones de Fe más materiales orgánicos.

La cantidad de moteado en el suelo es muy poca y esta se debe a que el suelo posee poca cantidad de partículas de humus, también al cambio de alternancia ente mojado y secado del suelo.

La porosidad total de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza a los primeros 30 cm de profundidad es media alta a muy alta pero a medida se profundiza esta puede tender a cambiar por la cantidad de partículas de arcilla, aumentando los valores de porosidad total. Para poder mejorar la porosidad a mayor profundidad es necesario realizar obras de conservación de suelo como realizar cajuelas y se incorpore toda la materia orgánica y esta ayude a mejorar la estructura del suelo.

Para poder aumentar la distribución de macroporosidad en el suelo se debe de tener que incorporar más materia orgánica y así poder disminuir la distribución de microporosidad, aumentando una mejor aireación y movimiento del agua en el suelo.

Los datos de densidad aparente de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza son muy cercanos al valor de 1 indicando que estos suelos poseen un gran contenido de partículas de Arcila.

Los datos de densidad real más bajos según la investigación se produjeron en la parte baja e intermedia de la finca agroecológica en donde se pudo observar mayor cantidad de material orgánico y la topografía del suelo es más plana.

Los datos de densidad real más altos en la finca agroecológica la esperanza andan en los rangos de 2.66 a 2.69 pero este valor se puede modificar de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que se le esté incorporando al suelo

La resistencia mecánica a la penetración en los suelos en la finca agroecológica La Esperanza a los 30 cm de profundidad en su mayoría es igual o menor a 200 PSI.

La resistencia mecánica a la penetración en el suelo en la finca agroecológica La Esperanza a los 60 cm de profundidad en su mayoría está por arriba de los 200 PSI .esto se debe a que a esa profundidad se puede encontrar más contenido de partículas de arcilla en el sub suelo.

La conductividad hidráulica de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza es muy lenta o casi nula provocando que el agua de lluvia no se infiltre hasta las capas más bajas del suelo produciendo anegación en las zonas planas debido a que el agua corre sub superficial pero no entra en el gradiente del suelo.

Para poder mejorar la conductividad hidráulica en los suelos de la finca es necesaria la incorporación de materia orgánica y realizar obras de conservación de suelo ya que a una profundidad de 60 cm se puede encontrar una gran cantidad de partículas de arcilla.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Alveiro, J. 2005. LA DENSIDAD APARENTE Y SU RELACION CON OTRAS PROPIEDADES EN SUELOS DE LA ZONA CAFETALERA COLOMBIANA (en línea). Colombia. 20p. consultado 18 ago. 2021. disponible en [https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056\(04\)381-397.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056(04)381-397.pdf)

Avidan, A. 1999. Determinación del Régimen de riego de los Cultivos. CINADCO. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Israel. p. 65

Betacourt, M. 2013. Evaluación del estado actual de los suelos en los municipios de Villanueva y Chinandega, en base a sus características físicas y químicas. En el periodo comprendido entre Junio del 2012 – Julio del 2013. (en línea). Tesis ing. Agr. Nicaragua, UNA. consultado 10 may. 2021. disponible en <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3260/1/225901.pdf>

Caballero, A. 2019. Propuesta De Producción No Convencional De Café Carmesi, Finca La Ilusión, De San Andrés De Los Gamas, Temascaltepec Estado De Mexico (en línea). México. consultado 09 Jun, 2021 disponible en <http://148.215.1.182/bitstream/handle/20.500.11799/104942/tesis%20Margarita%20CA.pdf?sequence=5pdf>.

Calambas, M. 2009. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO, EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ ORGÁNICO Y TRADICIONAL EN LOS MUNICIPIOS DE CALDONO, MORALES Y PIENDAMO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (en línea) tesis ing. Agr. Colombia. UNAL. consultado 15 jun. 2021. disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9292/rosanacalambasmuelas.2009.pdf?sequence=1>.

CATIE (Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza). 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Costa Rica. 118p. consultado el 02 sep. 2021. disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4980/Estudio_comparativo.pdf?sequence=1.

Cardona, D. 2005. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. (en línea). Colombia. 17 p. consultado 31 oct. del 2021. disponible en [arc056\(04\)348-364.pdf \(cenicafe.org\)](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056(04)348-364.pdf)

CEPAL (Comisión Económica Para América Latina). 1,957. El Café En El Salvador. (en línea). San Salvador, El Salvador. 112 p. consultado 09 jun. 2021 disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/14444/S5700054_es.pdf?sequence=2

Coppens, Z.2017. Caracterización de propiedades físicas del suelo en diferentes parcelas productivas dentro del municipio de León, durante el ciclo productivo 2017.(en línea).tesis Ing.Agr.Nicaragua,UNAN.consultado 26 abr.2021.disponible en <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6844/1/240196.pdf>

Cos ,F.2017.botiquin de análisis agroecológico de suelos(en línea)Boletín consultado 11 may.2021.disponible en <file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/1072-Texto%20do%20resumo-2577-1-10-20180818.pdf>

Delgadillo,L.2010. Manual de Procedimientos Analíticos. (en línea).Mexico.56p.consultado 02 sep.2021.disponible en <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>.

Domínguez, M.2005.Evaluacion de la calidad de los suelos de ladera de Nandaime, a través de la identificación y uso de indicadores técnicos y locales.(en línea).tesis.ing.Rn.Nicaragua.UNA.consultado 02 sep.2021.disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/1056/1/tnp33d671.pdf>

Domínguez, R.2012. Identificación de las tierras en uso inadecuado y su incidencia en el desarrollo socioeconómico en el departamento de Santa Ana. Santa Ana, El Salvador.

FAO ((Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura).2009.Guia para la descripción del suelo.(en línea).Bolivia.111 consultado 02 sep.2021.disponible en <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>.

FAO (Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura).2010. EL SUELO, DIFERENCIAS SEGÚN SU ASPECTO FÍSICO Y QUÍMICO.(en línea).consultado el 02 sep.2021.disponible en <https://www.fao.org/3/ah645s/ah645s04.htm>.

Forero,S.2000.Conductividad Hidráulica Para drenajes De Campos Agrícolas(en línea).Bogota.18p.consultado 02 sep. 2021 disponible en <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=aa5nDyr5UR4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=conductividad+hidr%C3%A1ulica+en+suelos+agr%C3%ADcolas&ots=6QD4p4PeRs&sig=X9-DIZW70sjK1gaI58VAq2JNOjU#v=onepage&q&f=false.pdf>

Hargreaves,G;Salazar,L;Stutler,R.1985.Manual de programación del riego .Logan Utañh, Estados Unidos.223p

Hincapie,G.2011.Impacto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café(en línea).Bogota,Colombia.11p.consultado 14 jun. 2021.disponible en <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/490/1/arc062%2802%2979-89.pdf>

Hosokay,M.2012. Calidad De Suelos En Diferentes Sistemas De Uso En Supte San Jorge - Tingo María.(en línea).tesis ing. Agr.tingo Maria ,Peru,UNAS.consultado 25 abr. 2021.disponible en

<https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/453/T.CSA93.pdf?sequence=1&isAllowed=y-pdf>

INTA (Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria).2015. Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico.(en línea).Argentina.10p.consultado 30 abr.2021.disponible en http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf

Kerr,N.1980.la edad de oro del café en El Salvador 18863-1885(en línea) .San Salvador,El Salvador.25 p.consultado 09 jun. 2021 disponible en [file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/Dialnet-LaEdadDeOroDelCafeEnElSalvador18631885-4009592%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/Dialnet-LaEdadDeOroDelCafeEnElSalvador18631885-4009592%20(1).pdf)

Larios,G.2014.FERTILIDAD DEL SUELO BAJO PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS Y MANEJO CONVENCIONAL EN EL CULTIVO DE CAFÉ, NICARAGUA 2009 – 2010(en línea).tesis Msc.Agr.Nicaragua.UNA.consultado 10 may.2021.disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/2776/1/tnp351323f.pdf>.

Lasluisa,P.2020. CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN LOS CULTIVOS DE CAFÉ (Coffea arabica, Coffea canephora) DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO PARA LA CONSERVACIÓN AMAZÓNICA.(en línea).tesis ing.A,Ecuador.UEA.consultado 04 nov.2021.disponible en <universidad estatal amazonica - Microsoft Bing Search>

Martínez, I.2016.CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, FÍSICA Y BIOLÓGICA DE SUELOS DE LA GRANJA AGROECOLÓGICA UNIMINUTO VILLAVICENCIO.(en línea).tesis Ing.Agr.Bogota.CUMD.consultado 11 may. .2021.disponible en https://repository.uniminuto.edu/jspui/bitstream/10656/4881/1/T.IAG_MartinezIzquierdoJuanFelipe_2017.pdf

Marin,C.2011.Edafología 1.(en línea).Bogota,Colombia.170p.consultado 25 abr.2021.disponible en <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Maestre,R.2016. Caracterización de propiedades físicas de suelos cultivados con cafeto del municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela (en línea).Venezuela.12p. Consultado 02 sep. 2021.disponible en <Caracterizacion-de-propiedades-fisicas-de-suelos-cultivados-con-cafeto-del-municipio-Caripe-estado-Monagas-Venezuela.pdf> (researchgate.net)

Molina.J.2016. Diagnóstico de las propiedades físicas de los suelos cafetaleros de la micro cuenca la Suiza, Municipio de Montecristo, Chiapas.(en línea).Mexico.82p.consultado 02 sep.2021 disponible en

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8158/64171%20ZAVALA%20MOLINA%2c%20JULIAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno,R.2006.La estructura de un suelo (en línea).Valencia.10p.consultado 01 may.2021.disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8010/estructura.pdf>

Muelas ,R.2009. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo, en sistemas de producción de café orgánico y tradicional en los municipios de Caldon, Morales y Piendamó en el departamento del Cauca.(en línea).Honduras.74 p.consultado 02 sep. 2021disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9292>.

Ortiz, S.2015. Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología.(en línea).revista eubacteria.consultado 01 abr.2021.disponible en https://www.um.es/eubacteria/Sintesis_de_la_evolu%C3%B3n_del_conocimiento_en_Edafo%20g%C3%ADa_Eubacteria34.pdf.

Pallarez,M.2019.Importancia de las propiedades físicas del suelo.(en línea).Colombia.consultado 02 sep. 2021.disponible en <https://www.contextoganadero.com/reportaje/importancia-de-las-propiedades-fisicas-del-suelo>.

Prado,O.2004. Mejoramiento De Las Propiedades Físicas Y Químicas Del Suelo Mediante Aplicación De Bocashi, Para Cultivar Pimiento Híbrido Quetzal, Cantón Puyango.(en línea).tesis lic.Adm.Quito,Ecuador,UNL.consultado 29 abr.2021.disponible en <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/5575/1/Prado%20Ochoa%20Miguel.pdf>

Reyes,A.2007.Efecto de los diferentes sistemas agroforestales sobre el estado de las propiedades físicas de un suelo ferralítico rojo amarillento lixiviado de la localidad de Tones de Collantes.(en línea).Cuba.6 p.consultado 02 sep.2021.disponible en [Art 7 \(03,07\) -Alfredo Reyes \(49-54\)pozo ok.pmd \(uclv.edu.cu\)](http://www.uclv.edu.cu/~art7(03,07)-AlfredoReyes(49-54)pozo.ok.pmd)

Rodríguez ,A.2015.prácticas de edafología métodos didácticos para el análisis de suelo.(en línea).España.UNIR.consultado 02 sep.2021disponible en [file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/Dialnet-PracticasDeEdafologia-580696%20(3).pdf)

Rucks,L.2004 Propiedades físicas de los suelos(en línea).Monte Video,Uruguay.68 p.consultado 30 abr.2021.disponible en <file:///F:/tesis/propiedades+fisicas+del+suelos.pdf>

Saavedra,D.2019. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS Y SU RELACIÓN CON SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN EL MUNICIPIO CAMPOALEGRE, DEPARTAMENTO DEL HUILA, COLOMBIA.(en línea).Colombia. 8p.consultado 02 sep. 2021. disponible en <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/bitstream/handle/654321/4244/8%20PROPIEDADES%20FISICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SENA(Servicio Nacional De Aprendizaje).2013.Manual de prácticas de campo y laboratorios de suelo.(en línea).Colombia. Consultado 11 may. 2021. disponible en https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf;jsessionid=FAF1F8F77F718E04E9FCAC56F5B8586D?sequence=1

Tejada ,J.2004.Infiltracion del agua en el suelo (diapositivas).San Salvador,El Salvador.18 diapositivas,color.

UNAG (Unión Nacional De Agricultura Y Ganadera).2017 Metodología de campo para determinar profundidad, densidad aparente, textura y ph en el suelo.(en línea).Managua,Nicaragua,consultado 14 jun. 2021 disponible en <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>

UCA(Universidad Centro Americana José Simeón Cañas).2013.Descripcion de la dinámica agropecuaria –comercial del subsector café en El Salvador y aproximación al análisis de equidistribucion del ingreso generado ,1990-2011.(en línea) .San Salvador, El Salvador.25p.consultado 09 jun. 2021 disponible en [file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/Dialnet-LaEdadDeOroDelCafeEnElSalvador18631885-4009592%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Optiplex%20790/Downloads/Dialnet-LaEdadDeOroDelCafeEnElSalvador18631885-4009592%20(1).pdf)

Vargas,V.2014.EVALUACION Y PLANIFICACION AGROECOLOGICA DE LOS SUELOS DE LA FINCA EL EDEN, CORREGIMIENTO DE PACHAQUIARO, PUERTO LÓPEZ, META(en línea).tesis Ing.Agr.Bogota.UNAD.consultado 10 may.2021.disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6312/97600480.pdf?sequence=1>.

(USDA)Departamento De Agricultura De Los Estados Unidos).1999.Guia para la evaluación y calidad de suelo.(en línea)Estados Unidos.88p.consultado 10 may.2021.disponible en https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf

Varas, C.2016.Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) en la Comunidad El Rocano del Cantón Arenillas de la Provincia de El Oro (En línea).San Tiago Guayaquil, Colombia.131p.Consultado 10 may. 2021. Disponible en <file:///E:/libros/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-103.pdf>

Villalobos, P.2011.Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica(en línea).Costa Rica. Consultado 14 jun 2021.disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242011000100010&script=sci_arttext

Zaenz, D.2011.Macrofauna Y Propiedad Agroforestales Con Cacao Acrofauna Y Propiedades Físico-Químicas Del Suelo En Sistemas Acao (Theobroma Cacao L.) Y Bosques Secundario Sur Occidente De Guatemala.(en línea).tesis Lic.Biol.Guatemala,USAC.consultado 30 abr.2021.disponible en <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/B211.pdf>

X. Anexos.

Anexos 1. Relación velocidad de infiltración y drenaje del suelo.

| Drenaje | Velocidad (cm/hr) | Características |
|----------------------------|-------------------|--|
| muy pobremente drenado | 0.10-0.5 | El agua no desaparece por la presencia cerca de la superficie de una napa cercana a ella. |
| pobremente drenado | 0.5-2.0 | El agua desaparece muy lentamente y el suelo permanece mojado durante casi todo el año. |
| drenaje imperfecto | 2.0-6.0 | El agua desaparece en forma lenta y el suelo está saturado por largos periodos en el año |
| moderadamente bien drenado | 6.0-12.0 | El agua desaparece del suelo en forma algo lenta y el suelo se ve saturado por periodos importantes del año. |
| bien drenado | 12.0-25.0 | El agua desaparece del suelo fácilmente pero no tan rápido |
| excesivamente drenado | +25.0 | El agua desaparece tan rápidamente que los suelos presentan un riesgo de sequia |

Fuente (Tejada 2004)

Anexos 2. Relación que existe entre la velocidad de infiltración con la textura de los suelos.

| Clase | Velocidad (cm/hr) | Textura |
|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Muy lenta | < 0.10 | Pesadas |
| Lenta | 0.10-0.5 | Pesadas y moderadamente |
| Moderadamente lenta | 0.5-2.0 | Medias a pesadas |
| Moderada | 2.0-6.0 | Medias |
| Moderadamente rápida | 6.0-12.0 | Medias a livianas |
| Rápida | 12.0-25.0 | Moderadamente liviana |
| Muy rápida | +25.0 | Muy livianas |

Fuente (Tejada 2004)

.Determinación de la textura del suelo de la finca agroecológica La Esperanza.

Anexos 3. Cuadro De Determinación De La Textura Del Suelo De La Finca Agroecológica La Esperanza

| Tipo de muestra | | Lectura hidrómetro | | | | Corrección T° | | Correc. blanco | | | | | | | |
|-----------------|------|--------------------|---------|------|---------|---------------|------|----------------|------|----------------|---------|------|-------|---------|--------|
| Mx | PSS | 40 seg | T° (°C) | 2 hr | T° (°C) | 40 seg | 2 hr | 40 seg | 2 hr | Arcilla + Limo | Arcilla | Limo | Arena | Textura | Blanco |
| XI-01 | 50.0 | 30 | 26 | 15 | 27 | 33.0 | 18.5 | 30.0 | 15.5 | 60.0 | 31.0 | 29.0 | 40.0 | FCA | 3 |
| XI-02 | 50.0 | 30 | 26 | 15 | 27 | 33.0 | 18.5 | 30.0 | 15.5 | 60.0 | 31.0 | 29.0 | 40.0 | FCA | 3 |
| XI-03 | 50.0 | 30 | 26 | 15 | 27 | 33.0 | 18.5 | 30.0 | 15.5 | 60.0 | 31.0 | 29.0 | 40.0 | FCA | 3 |
| XI-04 | 50.0 | 24 | 26 | 10 | 26 | 27.0 | 13.0 | 24.0 | 10.0 | 48.0 | 20.0 | 28.0 | 52.0 | FCA | 3 |
| XI-05 | 50.0 | 30 | 27 | 19 | 27 | 33.5 | 22.5 | 30.5 | 19.5 | 61.0 | 39.0 | 22.0 | 39.0 | FC | 3 |
| XI-06 | 50.0 | 22 | 27 | 10 | 28 | 25.5 | 14.0 | 22.5 | 11.0 | 45.0 | 22.0 | 23.0 | 55.0 | FCA | 3 |
| XI-07 | 50.0 | 36 | 26 | 22 | 26 | 39.0 | 25.0 | 36.0 | 22.0 | 72.0 | 44.0 | 28.0 | 28.0 | A | 3 |
| XI-08 | 50.0 | 32 | 27 | 17 | 27 | 35.5 | 20.5 | 32.5 | 17.5 | 65.0 | 35.0 | 30.0 | 35.0 | FC | 3 |
| XI-09 | 50.0 | 30 | 27 | 16 | 27 | 33.5 | 19.5 | 30.5 | 16.5 | 61.0 | 33.0 | 28.0 | 39.0 | FC | 3 |
| XI-10 | 50.0 | 24 | 27 | 14 | 27 | 27.5 | 17.5 | 24.5 | 14.5 | 49.0 | 29.0 | 20.0 | 51.0 | FCA | 3 |
| XI-11 | 50.0 | 27 | 27 | 20 | 27 | 30.5 | 23.5 | 27.5 | 20.5 | 55.0 | 41.0 | 14.0 | 45.0 | A | 3 |
| XI-12 | 50.0 | 25 | 27 | 16 | 28 | 28.5 | 20.0 | 25.5 | 17.0 | 51.0 | 34.0 | 17.0 | 49.0 | FCA | 3 |
| XI-13 | 50.0 | 20 | 27 | 14 | 27 | 23.5 | 17.5 | 20.5 | 14.5 | 41.0 | 29.0 | 12.0 | 59.0 | FCA | 3 |
| XI-14 | 50.0 | 24 | 28 | 21 | 28 | 28.0 | 25.0 | 25.0 | 22.0 | 50.0 | 44.0 | 6.0 | 50.0 | CA | 3 |
| XI-15 | 50.0 | 22 | 27 | 15 | 28 | 25.5 | 19.0 | 22.5 | 16.0 | 45.0 | 32.0 | 13.0 | 55.0 | FCA | 3 |
| XI-16 | 50.0 | 25 | 28 | 17 | 28 | 29.0 | 21.0 | 26.0 | 18.0 | 52.0 | 36.0 | 16.0 | 48.0 | CA | 3 |
| XI-17 | 50.0 | 34 | 27 | 26 | 27 | 37.5 | 29.5 | 34.5 | 26.5 | 69.0 | 53.0 | 16.0 | 31.0 | C | 3 |
| XI-18 | 50.0 | 13 | 27 | 10 | 27 | 16.5 | 13.5 | 13.5 | 10.5 | 27.0 | 21.0 | 6.0 | 73.0 | FCA | 3 |
| XI-19 | 50.0 | 30 | 27 | 19 | 27 | 33.5 | 22.5 | 30.5 | 19.5 | 61.0 | 39.0 | 22.0 | 39.0 | FC | 3 |

Fuente propia 2021.

Anexos 4. Tabla de factores de corrección para textura.

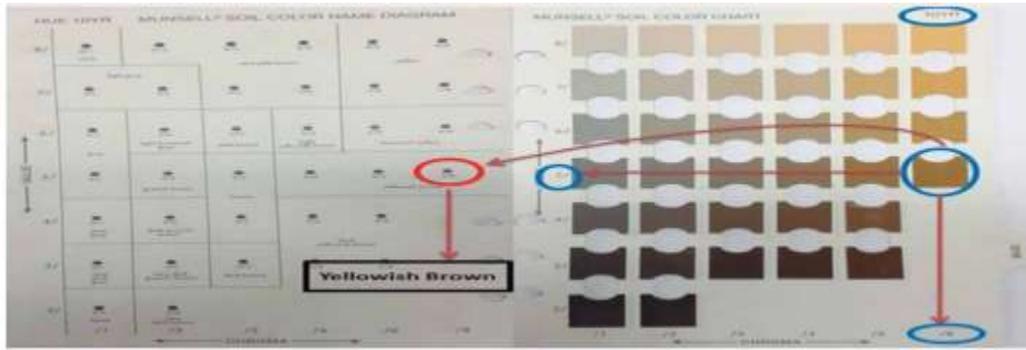
| Factores de corrección para textura | |
|-------------------------------------|------|
| 20 | 0 |
| 21 | 0.2 |
| 22 | 0.4 |
| 23 | 0.7 |
| 24 | 1 |
| 25 | 1.2 |
| 26 | 1.65 |
| 27 | 2 |
| 28 | 2.5 |
| 29 | 3.05 |
| 30 | 3.8 |

Fuente (Sena 2013)

Anexos 5. Tabla característica de los suelos en función de su textura.

| textura | Conductividad hidráulica (cm/h) | Capacidad de campo (% en peso) | Punto marchitez permanente(% en peso) | Capacidad de retención de agua (% vol. |
|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| Arenosos | 2.5-25 | 5-16 | 2-6 | 6-10 |
| Franco arenoso | 1.3-7.6 | 10-20 | 4-8 | 9-15 |
| Franco | 0.8-2.0 | 15-30 | 8-12 | 14-20 |
| Franco arcillosos | 0.25-1.5 | 25-35 27-40 | 11-15 | 16-22 |
| Franco limoso | 0.03-0.5 | 30-70 | 13-17 | 18-23 |
| arcillosos | 0.01-1.0 | | 15-19 | 20-25 |

Fuente (Sena 2013)



Anexos 6. Tabla de munsell.

Anexos 7. Tabla colores asociados con los componentes minerales y orgánicos del suelo

| Colores asociados con los componentes minerales y orgánicos del suelo | | | |
|---|--|-----------|-------------------|
| componentes | formula | munsell | color |
| Goetita | FeOOH | 10YR8/6 | Amarillo |
| Goetita | FeOOH | 7.5YR5/6 | Marrón fuerte |
| Hematita | Fe ₂ O ₃ | 5R3/6 | Rojo |
| Hematita | Fe ₂ O ₃ | 10R4/8 | Rojo |
| Lepidocrocita | FeOOH | 5YR6/8 | Amarillo rojizo |
| Lepidocrocita | FeOOH | 2.5YR4/6 | Rojo |
| Ferrihidrita | Fe((OOH) ₃) | 2.5YR3/6 | Rojo oscuro |
| Glauconita | K(Si ₂ Al _{4,3})(Al,Fe,Mg)O ₁₀ (OH) ₂ | 5Y5/1 | Gris oscuro |
| Maghenita | -Fe ₂ O ₃ | 2.5YR-5YR | Rojo |
| Sulfuro de hierro | FeS | 10YR2/1 | Negro |
| pirita | FeS ₂ | 10YR2/1 | Negro (metálico) |
| Jarositita | KFe ₃ (=H)6(SO ₄) ₂ | 5Y6/4 | Amarillo pálido |
| Humus | | 10YR2/1 | Negro |
| Calcita | CaCO ₃ | 10YR8/2 | Blanco |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 10YR8/2 | Blanco |
| Yeso | CaSO ₄ .2H ₂ O | 10YR8/3 | Marrón muy pálido |
| cuarzo | SiO ₂ | 10YR6/1 | Gris claro |

Fuente (USDA 2002)

Anexos 8. Tabla de clasificación de la abundancia de los moteados

| Clasificación de la abundancia de los moteados | |
|--|-------|
| | % |
| Ninguno | 0 |
| Muy pocos | 0-2 |
| Pocos | 2-5 |
| Común | 5-15 |
| Muchos | 15-40 |
| abundante | >40 |

Fuente (FAO 2009)

Anexos 9. Tabla de clasificación de los moteados

| Clasificación del tamaño de los moteados | |
|--|------|
| | Mm |
| Muy fino | <2 |
| Fino | 2-6 |
| Medio | 6-20 |
| grueso | >20 |

Fuente (Jordán 2005)

Anexos 10. Tabla de Interpretación de la porosidad.

| Porosidad total% | Interpretación |
|------------------|----------------|
| <30 | Muy baja |
| 30-40 | Baja |
| 40-50 | Media |
| 50-60 | Alta |
| >60 | Muy alta |

Fuente (Delgadillo 2010)

Anexos 11. Cuadro de porcentaje de porosidad de suelos de la finca agroecológica La Esperanza.

| Código Raa-# de muestra | Porosidad total (%) | interpretación |
|-------------------------|---------------------|----------------|
| Raa-mx1 | 50 | Media |
| Raa-mx2 | 66 | Muy alta |
| Raa-mx3 | 50 | Media |
| Raa-mx4 | 66 | Muy alta |
| Raa-mx5 | 65 | Muy alta |
| Raa-mx6 | 62 | Muy alta |
| Raa-mx7 | 65 | Muy alta |
| Raa-mx8 | 47 | Media |
| Raa-mx9 | 68 | Muy alta |
| Raa-mx10 | 60 | Alta |
| Raa-mx11 | 59 | Alta |
| Raa-mx12 | 66 | Muy alta |
| Raa-mx13 | 52 | Alta |
| Raa-mx14 | 62 | Muy alta |
| Raa-mx15 | 62 | Muy alta |
| Raa-mx16 | 59 | Alta |
| Raa-mx17 | 66.92 | Muy alta |
| Raa-mx18 | 47 | Media |
| Raa-mx19 | 68 | Muy alta |

Fuente (Jordán 2005)

Anexos 12. Cuadro de valores de microporosidad y macroporosidad del suelo de la finca agroecológica La Esperanza.

| # de muestra | Valor de micro porosidad (%) | Valor de Macro porosidad (%) |
|--------------|------------------------------|------------------------------|
| Raa-mx1 | 35.62 | 14.38 |
| Raa-mx2 | 31.70 | 34.3 |
| Raa-mx3 | 35.62 | 14.38 |
| Raa-mx4 | 31.70 | 34.3 |
| Raa-mx5 | 41.31 | 23.69 |
| Raa-mx6 | 32 | 30 |
| Raa-mx7 | 32.77 | 32.23 |
| Raa-mx8 | 47.32 | 8.53 |
| Raa-mx9 | 38.46 | 29.53 |
| Raa-mx10 | 37.40 | 22.59 |
| Raa-mx11 | 38.46 | 20.53 |
| Raa-mx12 | 38.46 | 27.53 |
| Raa-mx13 | 37.40 | 14.59 |
| Raa-mx14 | 43.81 | 18.18 |
| Raa-mx15 | 34.90 | 27.09 |
| Raa-mx16 | 37.40 | 21.59 |
| Raa-mx17 | 40.60 | 26.31 |
| Raa-mx18 | 30.63 | 16.36 |
| Raa-mx19 | 30.27 | 37.72 |

Fuente propia 2021

Anexos 13. Cuadro de resultados de densidad aparente de la finca agroecológica La Esperanza.

| # de muestra | Peso de Caja Vacía (gr) | Peso de Caja + MxS(gr) | Volumen del Cilindro (cc) | Densidad Aparente(g/cc) |
|--------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Ra-mx1 | 90.4 | 193.8 | 96 | 1.068 |
| Ra-mx2 | 90.4 | 193.8 | 96 | 1.068 |
| Ra-mx3 | 90.4 | 193.8 | 96 | 1.068 |
| Ra-mx4 | 34.2 | 120.5 | 96 | 0.89 |
| Ra-mx5 | 34.2 | 145.6 | 96 | 1.16 |
| Ra-mx6 | 67.6 | 154.4 | 96 | 0.90 |
| Ra-mx7 | 34.1 | 122.9 | 96 | 0.92 |
| Ra-mx8 | 33.6 | 162.3 | 96 | 1.34 |
| Ra-mx9 | 34.6 | 138.5 | 96 | 1.08 |
| Ra-mx10 | 34.2 | 135.6 | 96 | 1.05 |
| Ra-mx11 | 38.1 | 141.8 | 96 | 1.08 |
| Ra-mx12 | 69.2 | 172.9 | 96 | 1.08 |
| Ra-mx13 | 38.4 | 139.2 | 96 | 1.05 |
| Ra-mx14 | 39.3 | 157.7 | 96 | 1.23 |
| Ra-mx15 | 26.7 | 121.0 | 96 | 0.98 |
| Ra-mx16 | 34.0 | 135.7 | 96 | 1.05 |
| Ra-mx17 | 34.5 | 187.4 | 96 | 1.14 |
| Ra-mx18 | 34.5 | 117.8 | 96 | 0.86 |
| Ra-mx19 | 88.7 | 171.0 | 96 | 0.85 |

Fuente propia 2021

Anexos 14. Cuadro de relación entre la densidad aparente y la textura del suelo y su influencia en el desarrollo radicular de la planta.

| Relación entre la densidad aparente y la textura del suelo y su influencia en el desarrollo radicular de la planta | | | |
|--|--|--|---|
| Textura | Densidad aparente ideal para el crecimiento de la planta | Densidad aparente que afecta el crecimiento de la planta | Densidad aparente que restringe el crecimiento de la planta |
| Arenoso-Arenoso franco | <1.60 | 1.69 | >1.80 |
| Franco arenoso-franco | <1.40 | 1.63 | >1.80 |
| Franco arcilloso arenoso-franco arcillosos | <1.40 | 1.60 | >1.75 |
| Limo-Franco limoso | <1.40 | 1.60 | >1.75 |
| Franco arcillosos limoso | <1.40 | 1.55 | >1.65 |
| Arcillo limoso –Arcillo arenoso | <1.10 | 1.49 | >1.58 |
| Arcilla | <1.10 | 1.39 | >1.47 |

Fuente (USDA 1999)

Anexos 15. Resultados de densidad real de la finca La Esperanza.

| TABLA DE RESULTADOS PARA DENSIDAD REAL MÉTODO DEL PICNÓMETRO | | | | | |
|--|---------|---------|----------|---------|--------------------|
| # de muestra | Wa (gr) | Ws (gr) | Wsw (gr) | Ww (gr) | Densidad Real (gr) |
| Ra-mx1 | 28 | 35.1 | 81.6 | 74.5 | 2.17 |
| Ra-mx2 | 28 | 35.1 | 81.6 | 74.5 | 2.17 |
| Ra-mx3 | 28 | 35.1 | 81.6 | 74.5 | 2.17 |
| Ra-mx4 | 28.4 | 36.00 | 81.5 | 73.9 | 2.66 |
| Ra-mx5 | 29 | 36.7 | 82.3 | 74.6 | 2.66 |
| Ra-mx6 | 28.7 | 36.00 | 83.00 | 75.7 | 2.40 |
| Ra-mx7 | 29 | 36.7 | 82.4 | 74.7 | 2.66 |
| Ra-mx8 | 28.4 | 36.6 | 83.4 | 75.2 | 2.53 |
| Ra-mx9 | 28.00 | 37.1 | 82.7 | 73.6 | 2.23 |
| Ra-mx10 | 28.4 | 38.00 | 83.6 | 74 | 2.64 |
| Ra-mx11 | 28.9 | 36.4 | 83.1 | 75.6 | 2.63 |
| Ra-mx12 | 28.3 | 35.3 | 82.3 | 75.3 | 2.66 |
| Ra-mx13 | 28.3 | 36.7 | 81.7 | 73.3 | 2.22 |
| Ra-mx14 | 28.5 | 36.00 | 83.2 | 75.7 | 2.40 |
| Ra-mx15 | 28.6 | 37.6 | 82.7 | 73.7 | 2.61 |
| Ra-mx16 | 28.8 | 36.5 | 83.1 | 75.4 | 2.63 |
| Ra-mx17 | 29.1 | 37.4 | 83.3 | 75 | 2.66 |
| Ra-mx18 | 28.5 | 36.5 | 83.5 | 75.5 | 2.23 |
| Ra-mx19 | 28.1 | 36.6 | 83.08 | 74.58 | 2.69 |

Fuente propia.2021

Anexos 16. Clasificación de la resistencia mecánica de los suelos.

| Rango de la resistencia mecánica. | Clasificación |
|-----------------------------------|------------------------------|
| >100 | suelos extremadamente densos |
| 50 a 100 | suelos muy densos |
| 30 a 50 | suelos densos |
| 20 a 30 | suelos medianamente densos |
| 10 a 20 | suelos medianamente sueltos |
| <10 | suelos sueltos |

Fuente (Domínguez 2005)

Anexos 17. Resultados de velocidad de infiltración de los suelos de la finca La Esperanza.

| puntos | tiempo (Minuto) | Velocidad de infiltración (cm) |
|--------------------------|-----------------|--------------------------------|
| 1 parte baja de la finca | 5 | 10.00 |
| | 10 | 6.00 |
| | 15 | 4.90 |
| | 20 | 4.4 |
| 2 parte alta de la finca | 5 | 6.00 |
| | 10 | 5.70 |
| | 15 | 5.20 |
| | 20 | 4.90 |

Fuente propia 2021

Anexos 18. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica.

Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica

HOJA DE DATOS DE CAMPO

PERMEAMETRO DE GUELPH

Lugar: Punto 1. De La Finca La Esperanza. Fecha: 01/09/2021 Hora: 10:53 Am

Características del suelo y estado de humedad: Saturado.

Características del agujero de infiltración: compactado, saturado

Profundidad: 40 cm

Diámetro: 6 cm

Reservorios utilizados:

Combinados

Responsables: Rafael Antonio Mauricio Tejada

Interior

| Nivel Del Agua En El Agujero h1=5 cm | | | | |
|--|----------|----------------|---------|-----------------------|
| Tiempo t (min) | Δt (min) | Lectura H (cm) | Δt (cm) | Tasa de inf. (cm/min) |
| 0 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 2 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 4 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 6 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 8 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 10 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 12 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 14 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 16 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| Tasa de infiltración régimen Permanente R1 (cm/min)= | | | | 0 |

| Nivel Del Agua En El Agujero h2= 10 cm | | | | |
|--|----------|----------------|---------|-----------------------|
| Tiempo t (min) | Δt (min) | Lectura H (cm) | Δt (cm) | Tasa de inf. (cm/min) |
| 0 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 2 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 4 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 6 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 8 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 10 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 12 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 14 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 16 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| Tasa de infiltración régimen Permanente R2 (cm/min)= | | | | 0 |

$$Tasa = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{0 \text{ cm}}{2 \text{ min}} = 0$$

Anexos 19. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica.

. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica

HOJA DE DATOS DE CAMPO
PERMEAMETRO DE GUELPH

Lugar: Punto 2. De La Finca La Esperanza. Fecha: 01/09/2021 Hora: 11:22 Am

Características del suelo y estado de humedad: Saturado.

Características del agujero de infiltración: compactado, saturado

Profundidad: 50 cm

Diámetro: 6 cm

Reservorios utilizados: Combinados Responsables: Rafael Rosales, Mauricio Tejada

Interior

| Nivel Del Agua En El Agujero h1= 5 cm | | | | |
|--|----------|----------------|---------|-----------------------|
| Tiempo t (min) | Δt (min) | Lectura H (cm) | Δt (cm) | Tasa de inf. (cm/min) |
| 0 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 2 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 4 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 6 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 8 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 10 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 12 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 14 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 16 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| Tasa de infiltración régimen Permanente R1 (cm/min)= | | | | 0 |

| Nivel Del Agua En El Agujero h2= 10 cm | | | | |
|--|----------|----------------|---------|-----------------------|
| Tiempo t (min) | Δt (min) | Lectura H (cm) | Δt (cm) | Tasa de inf. (cm/min) |
| 0 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 2 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 4 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 6 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 8 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 10 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 12 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 14 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 16 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| Tasa de infiltración régimen Permanente R2 (cm/min)= | | | | 0 |

$$Tasa = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{0 \text{ cm}}{2 \text{ min}} = 0$$

Anexos 20. Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica.

Hoja de datos de campo para toma de conductividad hidráulica

HOJA DE DATOS DE CAMPO

PERMEAMETRO DE GUELPH

Lugar: Punto 3. De La Finca La Esperanza.

Fecha: 01/09/2021 Hora: 11:48 Am

Características del suelo y estado de humedad: Saturado.

Características del agujero de infiltración: compactado, saturado

Profundidad: 60 cm

Diámetro: 6 cm

Reservorios utilizados:

Combinado

Responsables: Rafael Rosales, Mauricio Tejada



Interior

| Nivel Del Agua En El Agujero h1=5 cm | | | | |
|--|----------|----------------|---------|-----------------------|
| Tiempo t (min) | Δt (min) | Lectura H (cm) | Δt (cm) | Tasa de inf. (cm/min) |
| 0 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 2 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 4 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 6 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 8 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 10 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 12 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 14 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 16 | 2 | 1.1 | 0 | 0 |
| Tasa de infiltración régimen Permanente R1 (cm/min)= | | | | 0 |

| Nivel Del Agua En El Agujero h2= 10 cm | | | | |
|--|----------|----------------|---------|-----------------------|
| Tiempo t (min) | Δt (min) | Lectura H (cm) | Δt (cm) | Tasa de inf. (cm/min) |
| 0 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 2 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 4 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 6 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 8 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 10 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 12 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 14 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| | | | | |
| 16 | 2 | 5.2 | 0 | 0 |
| Tasa de infiltración régimen Permanente R2 (cm/min)= | | | | 0 |

$$Tasa = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{0 \text{ cm}}{2 \text{ min}} = 0$$