



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 25 de Agosto de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Maria Fernanda Perdomo Losada, con C.C. No. 1075303811,

Karen Julieth Mejia Gaona, con C.C. No. 1080297395,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Evaluación de la aptitud del suelo para la producción agrícola de las fincas asociadas de la vereda el vergel del municipio de Palermo a la asociación de trabajadores campesinos del huila (ATCH)

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agrícola _____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: María Fernanda Perdomo Losada

María Fernanda Perdomo L.

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Karen Julieth Mejia Gaona

Karen J Mejia

Firma: _____



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 4

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mejia Gaona	Karen Julieth
Perdomo Losada	Maria Fernanda

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Sanabria Mendéz	Nadia Brigitte

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería agrícola

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS:

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas ___ Fotografías ___ Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general Grabados ___

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Láminas ___ Litografías ___ Mapas_x_ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros_x_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>español</u>	<u>Inglés</u>
1. Aptitud del suelo	Soil suitability	8. Cultivo del café	Coffee cultivation
2. zonificación ambiental	Environmental zoning	9. FAO	FAO
3. SAAT	SAAT	10. IGAC	IGAC
4. Aptitud agrícola	Agricultural suitability	11. NASA ASF Data Search Vertex	NASA ASF Data Search Vertex
5. Cultivos transitorios	Transitory crops		
6. Modelo de elevación digital(DEM)	digital elevation model (DEM)		
7. Asociación de trabajadores campesinos del Huila (ATCH)	Peasant workers association of Huila (ATCH)		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El proyecto se desarrolló en la vereda el Vergel, municipio de Palermo, donde la actividad económica principal es la agricultura, con un enfoque especial en el cultivo del café y algunos cultivos transitorios como plátano, yuca y maíz. El objetivo del proyecto fue evaluar la aptitud del suelo para la producción agrícola en las fincas asociadas de la vereda El Vergel, pertenecientes a la Asociación de Trabajadores Campesinos del Huila (ATCH).

Para determinar el potencial máximo de uso del suelo, sin generar conflictos, se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) proporcionado por el servidor de la NASA ASF Data Search Vertex. Se llevaron a cabo análisis detallados de las características de la zona, principalmente en las pendientes de la vereda y de los predios asociados. El muestreo de suelos se realizó mediante un enfoque de muestreo aleatorio estratificado, considerando los diferentes grados de inclinación del terreno, clasificados como baja (0%-3%), media (3%-8%), alta (8%-20%) y muy alta (20%-45%). Además, se aplicó un muestreo aleatorio simple mediante el software ArcGIS para cada grado de inclinación en ambos predios. En



el laboratorio, se determinaron propiedades físicas y químicas de las muestras, como textura, color, densidad real, densidad aparente, porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Utilizando la metodología SAAT para la evaluación de tierras de la FAO (Food and Agriculture Organization), se evaluó la aptitud del suelo para los cultivos de café, plátano, maíz y yuca. Los resultados obtenidos indican que la aptitud del suelo para ambos predios evaluados se clasifica como A2, lo cual representa tierras moderadamente aptas para la producción agrícola. Se identificaron problemas, principalmente relacionados con la acidez del suelo con valores de pH inferiores a 4.0 y un bajo contenido de materia orgánica, lo que puede reducir la productividad. Por lo tanto, se sugiere implementar medidas correctivas, como la aplicación de enmiendas y abonos orgánicos, para mejorar la calidad y el potencial del suelo, en búsqueda de un mejor desarrollo y sostenibilidad de los cultivos presentes en la zona.

Finalmente, se recomienda realizar un estudio más detallado de los macro y micro nutrientes del suelo, así como tener en cuenta variables climáticas específicas de la región. Esto permitirá obtener una comprensión más precisa de los factores que afectan la aptitud del suelo y, en última instancia, mejorar el aprovechamiento de los recursos agrícolas en la región.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The project was carried out in el Vergel, Palermo municipality, where the main economic activity is agriculture, with a special focus on the cultivation of coffee and some temporary crops such as plantains, yucca, and corn. The project's objective was to assess the soil suitability for agricultural production in the associated farms of El Vergel, belonging to the Association of Peasant Workers of Huila (ATCH).

To determine the maximum potential land use without generating conflicts, a digital elevation model (DEM) provided by the NASA ASF Data Search Vertex server was used. Detailed analyses of the area's characteristics were conducted, primarily focusing on the slopes of El Vergel and the associated plots. Soil sampling was carried out using a stratified random sampling approach, considering different degrees of terrain inclination classified as low (0%-3%), medium (3%-8%), high (8%-20%), and very high (20%-45%). Additionally, a simple random sampling was applied through ArcGIS software for each degree of inclination in both plots. In the laboratory, physical and chemical properties of the soil samples, such as texture, color, real density, bulk density, porosity, field capacity, wilting point, pH, electrical conductivity, and cation exchange capacity, were determined.



Using the SAAT methodology for land evaluation of the FAO (Food and Agriculture Organization), the suitability of the soil for coffee, banana, corn and cassava crops was evaluated. The results obtained indicate that the aptitude of the soil for both forecasts evaluated is classified as A2, which represents lands moderately suitable for agricultural production. Problems were identified, mainly related to soil acidity with pH values below 4.0 and low organic matter content, which can reduce productivity. Therefore, it is suggested to implement corrective measures, such as the application of amendments and organic fertilizers, to improve the quality and potential of the soil, in search of a better development and sustainability of the crops present in the area.

Finally, it is recommended to conduct a more detailed study of macro and micro-nutrients in the soil, as well as consider specific climate variables of the region. This will allow obtaining a more precise understanding of the factors affecting soil suitability and, ultimately, enhance the utilization of agricultural resources in the region.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Miguel Ángel Díaz Herrera

Firma:

Vigilada Mineducación

**EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL SUELO PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
DE LAS FINCAS ASOCIADAS DE LA VEREDA EL VERGEL DEL MUNICIPIO DE
PALERMO A LA ASOCIACIÓN DE TRABAJADORES CAMPESINOS DEL HUILA
(ATCH)**

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autore(s)

Karen Julieth Mejía Gaona: 20152139840

María Fernanda Perdomo: 20152143718

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Sede Neiva, Huila, Colombia. 2023

Firma

Director: Nadia Brigitte Sanabria Méndez

Nota de aceptación

Firma

Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Jurado: Miguel Ángel Díaz

EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL SUELO PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LAS FINCAS ASOCIADAS DE LA VEREDA EL VERGEL DEL MUNICIPIO DE PALERMO A LA ASOCIACIÓN DE TRABAJADORES CAMPESINOS DEL HUILA (ATCH)

RESUMEN

El proyecto se desarrolló en la vereda El Vergel, municipio de Palermo, donde la actividad económica principal es la agricultura, con un enfoque especial en el cultivo del café y algunos cultivos transitorios como plátano, yuca y maíz. El objetivo del proyecto fue evaluar la aptitud del suelo para la producción agrícola en las fincas asociadas de la vereda El Vergel, pertenecientes a la Asociación de Trabajadores Campesinos del Huila (ATCH).

Para determinar el potencial máximo de uso del suelo, sin generar conflictos, se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) proporcionado por el servidor de la NASA ASF Data Search Vertex. Se llevaron a cabo análisis detallados de las características de la zona, principalmente en las pendientes de la vereda y de los predios asociados. El muestreo de suelos se realizó mediante un enfoque de muestreo aleatorio estratificado, considerando los diferentes grados de inclinación del terreno, clasificados como baja (0%-3%), media (3%-8%), alta (8%-20%) y muy alta (20%-45%). Además, se aplicó un muestreo aleatorio simple mediante el software ArcGIS para cada grado de inclinación en ambos predios. En el laboratorio, se determinaron propiedades físicas y químicas de las muestras, como textura, color, densidad real, densidad aparente, porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico.

Utilizando la metodología SAAT para la evaluación de tierras de la FAO (Food and Agriculture Organization), se evaluó la aptitud del suelo para los cultivos de café, plátano, maíz y yuca. Los resultados obtenidos indican que la aptitud del suelo para ambos predios evaluados se clasifica como A2, lo cual representa tierras moderadamente aptas para la producción agrícola. Se identificaron problemas, principalmente relacionados con la acidez del suelo con valores de pH inferiores a 4.0 y un bajo contenido de materia orgánica, lo que puede reducir la productividad. Por lo tanto, se sugiere implementar medidas correctivas, como la aplicación de enmiendas y abonos orgánicos, para mejorar la calidad y el potencial del suelo, en búsqueda de un mejor desarrollo y sostenibilidad de los cultivos presentes en la zona.

Finalmente, se recomienda realizar un estudio más detallado de los macro y micro nutrientes del suelo, así como tener en cuenta variables climáticas específicas de la región. Esto permitirá obtener una comprensión más precisa de los factores que afectan la aptitud del suelo y, en última instancia, mejorar el aprovechamiento de los recursos agrícolas en la región.

Palabras clave: Aptitud del suelo, modelo de elevación digital (DEM), zonificación ambiental, SAAT, aptitud agrícola, asociación de trabajadores campesinos del Huila (ATCH), cultivos transitorios, cultivo del café, FAO, IGAC, NASA ASF Data Search Vertex.

ABSTRACT

The project was carried out in El Vergel, Palermo municipality, where the main economic activity is agriculture, with a special focus on the cultivation of coffee and some temporary crops such as plantains, yucca, and corn. The project's objective was to assess the soil suitability for agricultural production in the associated farms of El Vergel, belonging to the Association of Peasant Workers of Huila (ATCH).

To determine the maximum potential land use without generating conflicts, a digital elevation model (DEM) provided by the NASA ASF Data Search Vertex server was used. Detailed analyses of the area's characteristics were conducted, primarily focusing on the slopes of El Vergel and the associated plots. Soil sampling was carried out using a stratified random sampling approach, considering different degrees of terrain inclination classified as low (0%-3%), medium (3%-8%), high (8%-20%), and very high (20%-45%). Additionally, a simple random sampling was applied through ArcGIS software for each degree of inclination in both plots. In the laboratory, physical and chemical properties of the soil samples, such as texture, color, real density, bulk density, porosity, field capacity, wilting point, pH, electrical conductivity, and cation exchange capacity, were determined.

Using the SAAT methodology for land evaluation of the FAO (Food and Agriculture Organization), the suitability of the soil for coffee, banana, corn and cassava crops was evaluated. The results obtained indicate that the aptitude of the soil for both forecasts evaluated is classified as A2, which represents lands moderately suitable for agricultural production. Problems were identified, mainly related to soil acidity with pH values below 4.0 and low organic matter content, which can reduce productivity. Therefore, it is suggested to implement corrective measures, such as the application of amendments and organic fertilizers, to improve the quality and potential of the soil, in search of a better development and sustainability of the crops present in the area.

Finally, it is recommended to conduct a more detailed study of macro and micro-nutrients in the soil, as well as consider specific climate variables of the region. This will allow obtaining a more precise understanding of the factors affecting soil suitability and, ultimately, enhance the utilization of agricultural resources in the region.

Keywords: Soil suitability, digital elevation model (DEM), environmental zoning, SAAT, agricultural suitability, peasant workers association of Huila (ATCH), transitory crops, coffee cultivation, FAO, IGAC, NASA ASF Data Search Vertex.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1 Localización	13
2.2 Definición y delimitación del área de estudio	13
2.3 Evaluación de las pendientes del terreno	13
2.4 Muestreo de suelo	14
2.5 Análisis de laboratorio	16
2.5.1 Análisis de propiedades físicas	16
2.5.1.1 Humedad	16
2.5.1.2 Textura	17
2.5.1.3 Color	18
2.5.1.4 Densidad real	18
2.5.1.5 Densidad aparente	18
2.5.1.6 Porosidad	18
2.5.2 Análisis de propiedades químicas	19
2.5.2.1 pH	19
2.5.2.2 Acidez intercambiable	19
2.5.2.3 Conductividad eléctrica (C.E)	19
2.5.2.4 Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	19
2.5.2.5 Carbono orgánico	20
2.5.2.6 Carbono orgánico total	20
2.5.2.7 Materia Orgánica	20
2.5.2.8 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente	21
2.6 Análisis estadístico	21
2.7 Evaluación de la aptitud del suelo	21
2.7.1 Capacidad de fertilidad	22
2.7.2 Disponibilidad de materia orgánica	23
2.7.3 Disponibilidad de agua	23
2.7.4 Disponibilidad de oxígeno y tipo de drenaje	24
2.7.5 Resistencia a la erosión	25
2.7.6 Uso de implementos agrícolas	26
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1 Zonificación ambiental vereda el Vergel	28

3.2 Análisis de la información e interpretación espacial	28
3.2.1 Mapa de pendientes del suelo para los predios estudiados	28
3.3 Parámetros físicos y químicos del suelo.....	30
3.3.1 Análisis de los parámetros físicos	30
Textura.....	32
Densidad real	32
Densidad Aparente.....	33
Porosidad	33
3.3.2 Análisis de los parámetros químicos	34
pH.....	34
Acidez.....	34
Conductividad eléctrica	35
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	35
Carbono orgánico (CO).....	36
Materia orgánica (MO)	36
3.3.2.7 Curva de retención de humedad mediante el Modelo Soil Water Characteristics.....	37
3.3.2.7.1 Predio 1	37
3.3.2.7.2 Predio 2	38
3.4 Análisis espacial con datos de muestreo de suelo utilizando SIG.....	40
3.5 Análisis estadístico.....	44
3.6 Determinación de aptitud agrícola del suelo	45
3.7 Análisis espacial mediante herramienta (SIG) de la Aptitud de Suelos.....	53
4. CONCLUSIONES	55
5. RECOMENDACIONES	56
6. REFERENCIAS	57
7. ANEXOS	61

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Triángulo textural USDA.....	17
FIGURA 2. Zonificación ambiental.	28
FIGURA 3. Mapa de pendientes predio 1.....	29
FIGURA 4. Mapa de pendientes predio 2.	29
FIGURA 5. Diagrama de barras de contenido de humedad para cada predio.....	32
FIGURA 6. Diagrama de barras de densidad aparente para cada predio	33
FIGURA 7. Diagrama de barras de acidez predio 1.	34
FIGURA 8. Diagrama de barras de C.E para cada predio.....	35
FIGURA 9. Diagrama de barras de % C.I.C para cada predio	36
FIGURA 10. Curva de retención de humedad predio 1.....	38
FIGURA 11. Curva de retención de humedad predio 1.....	39
FIGURA 12. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente predio 1	39
FIGURA 13. Porcentaje de capacidad de campo y punto de marchitez permanente predio 2	40
FIGURA 14. Mapa pH predio 1	41
FIGURA 15. Mapa de contenido de materia orgánica del suelo predio 1	41
FIGURA 16. Mapa de clasificación textural del suelo predio 1	42
FIGURA 17. Mapa pH predio 2	42
FIGURA 18. Mapa de contenido de materia orgánica del suelo predio 2.....	43
FIGURA 19. Mapa de clasificación textural del suelo predio 2.....	43
FIGURA 20. Mapa de aptitud de suelos para el predio 1	53
FIGURA 21. Mapa de aptitud de suelos para el predio 2.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Grados de limitación metodológica: Ramalho Filho y Beek (1995) y FEAM (2010).	14
TABLA 2. Clasificación de la pendiente y área por sector predio 2	14
TABLA 3. Coordenadas predio 2	15
TABLA 4. Clasificación de la pendiente y área por sector Predio 1	15
TABLA 5. Coordenadas predio 1	16
TABLA 6. Ponderación de parámetros para cada cultivo	22
TABLA 7. Propiedades químicas de los suelos para calcular fertilidad.	22
TABLA 8. Interpretación grados de fertilidad.	22
TABLA 9. Coeficientes capacidad de fertilidad.	23
TABLA 10. Disponibilidad de materia orgánica	23
TABLA 11. Coeficiente contenido de materia orgánica	23
TABLA 12. Disponibilidad de agua disponible según las clases texturales del suelo. En función de clases texturales: Ar: Arcilloso; L: Limoso; A: Arenoso; Franco.	24
TABLA 13. Disponibilidad de agua	24
TABLA 14. Condición de drenaje del suelo para clasificar disponibilidad de oxígeno y tipo de drenaje.	24
TABLA 15. Disponibilidad de oxígeno	24
TABLA 16. Coeficientes Tipo de drenaje	25
TABLA 17. Resistencia a la erosión según el grado de pendiente	25
TABLA 18. Coeficientes resistencia a la erosión	25
TABLA 19. Uso de Implementos agrícolas.	26
TABLA 20. Coeficientes uso de implementos agrícolas	26
TABLA 21. Clasificación aptitud de suelo	27
TABLA 22. Parámetros físicos obtenidos en el predio 1	30
TABLA 23. Parámetros químicos obtenidos en el predio 1	30
TABLA 24. Parámetros físicos obtenidos en el predio 2	31
TABLA 25. Parámetros químicos obtenidos en el predio 2	31
TABLA 26. Coeficientes de correlación para algunas de las variables químicas de los dos predios evaluados	44
TABLA 27. Coeficientes de correlación para las variables físicas de los predios evaluados	45
TABLA 28. Capacidad de fertilidad predio 1	45
TABLA 29. Capacidad de fertilidad predio 2	45
TABLA 30. Resistencia a la erosión predio 1	46
TABLA 31. Resistencia a la erosión predio 2	46
TABLA 32. Implementos agrícolas predio 1	47
TABLA 33. Implementos agrícolas predio 2	47
TABLA 34. Disponibilidad de oxígeno predio 1	47
TABLA 35. Disponibilidad de oxígeno predio 2	48
TABLA 36. Disponibilidad de materia orgánica predio 1	48
TABLA 37. Disponibilidad de materia orgánica predio 2	48

TABLA 38. Condición de drenaje predio 1	49
TABLA 39. Condición de drenaje predio 2	49
TABLA 40. Disponibilidad de agua predio 1	49
TABLA 41. Disponibilidad de agua predio 2	50
TABLA 42. Aptitud café predio 1	50
TABLA 43. Aptitud maíz predio 1	51
TABLA 44. Aptitud plátano predio 1	51
TABLA 45. Aptitud yuca predio 1	51
TABLA 46. Aptitud café predio 2	52
TABLA 47. Aptitud maíz predio 2	52
TABLA 48. Aptitud plátano predio 2	52
TABLA 49. Aptitud yuca predio 2	53

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas de producción agrícola se evalúan teniendo en cuenta el concepto de calidad de suelos, donde se determinan parámetros químicos, físicos y biológicos (Vallejo, 2013). Evaluar la aptitud de tierras, indica si la zona evaluada es apta para un cultivo o para otro y permite implementar sistemas de manejo para mejorar la producción de estos cultivos (Mirella et al., 2013). La falta de fertilidad de suelo, la necesidad de agua y otras condiciones agrícolas ocasionan diferentes respuestas a las limitaciones de los cultivos, por esto es importante evaluar la idoneidad de cada cultivo para que la producción agrícola sea más efectiva (Ribeiro, 2007).

Las técnicas de mapeo y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son de gran ayuda para la proyección del uso de la tierra en cuanto a desarrollo de actividades agrícolas debido a que permiten visualizar información del área seleccionada, incluyendo información primaria y resultados extrapolados de algoritmos expertos. Además, SIG es la principal base de datos que utiliza algoritmos para generar simulaciones de idoneidad agrícola y planificación de la tierra (Vasconcelos y Pereira, 2015). La metodología de la evaluación de aptitud de suelos permite a los expertos técnicos y a los responsables políticos probar diferentes alternativas en el manejo de la agricultura y crear varias opciones para elegir entre ellas las que pudieran reducir los riesgos y aumentar los beneficios para los agricultores (Salvatore, et al., 2012). La evaluación del suelo es importante para la planificación de su uso, ya que proporciona información acerca de la idoneidad de sus diferentes usos y ayuda a la toma de decisiones (Salvatore et al., 2013). Esta evaluación requiere la ejecución e interpretación de estudios respecto a formas de utilización de la tierra tales como el clima, los suelos, la vegetación y otros (FAO, 1976).

Para la FAO (2018) es necesario generar estudios que obtengan información para establecer medidas adaptativas antes que los eventos desfavorables presentan complicación y con ello reducir los impactos negativos, minimizar los problemas socioeconómicos relacionados con el hambre, la reducción de la pobreza, así como generación de alertas a los desastres naturales. Es por esto, que se hace necesario dar nuevos enfoques a los modelos de desarrollo agrícola, basándose en criterios de sostenibilidad, donde todos los factores tanto físicos como químicos del sistema suelo sean considerados elementos cruciales a la hora de elegir establecer un cultivo.

Las características físico-químicas del suelo, son muy importantes y se deben tener en cuenta por el productor agrícola en el momento de implementar un cultivo, puesto que el crecimiento y desarrollo de los cultivos, la cantidad y calidad de las cosechas se relacionan directamente con los nutrientes y las características que se encuentren presentes en los suelos (Garrido y Licona, 2017). Las propiedades físicas intervienen directamente en el desarrollo de las plantas siendo las más importantes: la estructura, densidad real, densidad aparente, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC), color, textura, porosidad, permeabilidad. Estas juegan un papel muy importante en la preparación del terreno, velocidad de infiltración del agua y la circulación del aire.

González y Hernández (2016), en su investigación Zonificación agroecológica del Coffea arábica en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México, evaluaron el potencial de los suelos destinados al cultivo de café Coffea arábica presentes en la zona, para el desarrollo de la investigación se realizó la delimitación del área de estudio y se tuvieron en cuenta variables como:

físico-geográficas como el relieve (altitud sobre el nivel del mar y la pendiente en grados), el clima (precipitación y temperatura) y la edafología (tipos de suelos). La metodología establecida para las relaciones entre las diferentes variables, la determinación de los potenciales físico-geográficos y la zonificación de *Coffea arábica*, se desarrolló con el empleo del SIG, utilizando el software ILWIS v. 3.31 (ITC, 2001) haciendo un análisis espacial basado en el modelo integrado de optimización de los potenciales naturales para el cultivo.

Por otro lado, Flores (2017) en su estudio determinación de aptitud de suelo para el cultivo de café (*Coffea arábica*) en los sectores de Pongo Pampa y Agrotakesi del municipio Yanacachi provincia Sud Yungas departamento de la Paz, se tomaron muestras de suelo y se realizó un análisis fisicoquímico de suelo para este cultivo, en función a modelos de elevación digital, esto permitió identificar los suelos con mayor aptitud agrícola.

En un estudio de fertilidad de suelos realizado en Panamá, se generaron 15 mapas digitales, 12 de ellos contienen resultados de la interpolación de datos de variables de suelo (pH, MO, Al, porcentaje de saturación de Al, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn), uno de textura y dos con la combinación de las bases intercambiables y los micronutrientes agregados. Los mapas se convierten en una herramienta de visualización gráfica muy útil para la toma de decisiones gubernamentales y la planificación a nivel regional de políticas agropecuarias, concentrando recursos públicos y privados. Asimismo, se puede zonificar el riesgo de la producción agropecuaria a una escala operativa a nivel nacional, regional y local, planificar el uso de los suelos de acuerdo con sus propiedades (Villarreal, 2018).

Los requisitos del uso de la tierra se refieren al conjunto de cualidades de la tierra que determinan las condiciones de producción y manejo de un tipo de uso de la tierra. Las limitaciones son cualidades de la tierra, o su expresión mediante criterios de diagnóstico, que afectan negativamente a un tipo de uso de la tierra. Por ejemplo, los requisitos para el cultivo mecanizado de trigo incluyen alta disponibilidad de oxígeno en la zona de raíces y ausencia de obstrucciones (cantos rodados o afloramientos rocosos); el encharcamiento y la presencia de cantos rodados son limitaciones. Por lo tanto, las limitaciones pueden considerarse como cualidades de la tierra expresadas de tal manera que muestren hasta qué punto las condiciones de la tierra no cumplen con los requisitos para un uso dado (FAO, 1976).

Basado en lo anterior, en este estudio se determinó la aptitud del suelo para los cultivos potenciales de los productores de la asociación de trabajadores campesinos del Huila ATCH de la vereda el Vergel del Municipio de Palermo, para lo cual se caracterizó las zonas de acuerdo a la topografía del terreno y uso del suelo de tal manera que el muestreo de suelos para los análisis físico-químicos fuese representativo. El estudio constituye una herramienta útil de decisión para los pequeños agricultores, tanto para el manejo del cultivo como para el establecimiento de cultivos. Para determinar la aptitud se tuvieron en cuenta diferentes cualidades del suelo que permitieron establecer el potencial de ese suelo para los diferentes cultivos presentes, puesto que en la zona se desarrollan cultivos como café, plátano, yuca y maíz. Este conjunto de parámetros físicos y químicos y demás cualidades del suelo, como erosión, capacidad de fertilidad, disponibilidad de agua, disponibilidad de oxígeno, entre otros permitieron el desarrollo de la metodología propuesta, esto con el fin de poder estudiar y entender una forma en que los recursos del suelo se aprovechen de manera más beneficiosa, dado que la planificación de las labores agrícolas deben basarse en la comprensión tanto del entorno natural como de los tipos del uso del suelo previstos).

La evaluación de la aptitud del uso del suelo fue empleada mediante la metodología desarrollada por la FAO esta metodología tiene en cuenta los tipos de uso de suelo, factores químicos, físicos, sociales y económicos, que permiten establecer las condiciones que prevalecen en un área específica. La metodología usada fue adoptada por el IGAC y se siguieron los lineamientos propuestos. El uso de las herramientas de información geográfica (SIG) permitieron representar el resultado de estos análisis de laboratorios y de suelos, puesto que con el modelo de elevación (DEM) empleado se caracterizó la zona y se halló la clasificación que corresponde al tipo de suelo de la zona de estudio dando como resultado el potencial agrícola evaluado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La vereda el Vergel se encuentra ubicada en el municipio de Palermo Huila, a una latitud de $3^{\circ}03'63''N$ y longitud de $-75^{\circ}08'80''O$, con una extensión aproximada de 1.125 hectáreas. La elevación varía entre 690 msnm y 1.113 m.s.n.m. Los predios evaluados para el presente estudio cuentan con un área total aproximada de 4,0 hectáreas, distribuyéndose de la siguiente manera: El predio 1 con una extensión de 1,5 hectáreas y el predio 2 con extensión de 2,5 hectáreas.

2.2 Definición y delimitación del área de estudio

La zonificación y área de estudio se determinó basándose en la información suministrada por la oficina de planeación de la Alcaldía del Municipio de Palermo de la vereda el Vergel, así como, la información cartográfica obtenida por medio del Geoportal Colombia en mapas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), las especificaciones técnicas mínimas para la cartografía oficial fueron basadas en el artículo 4 de la resolución 471 de mayo 14 de 2020. De acuerdo a esta información, se analizó de forma general la extensión, topografía, usos de suelo de la vereda, así como accesibilidad escogiendo los predios de los usuarios miembros de la Asociación de Trabajadores Campesinos del Huila (ATCH).

Para la delimitación del área de estudio se hizo el recorrido en cada uno de los predios y por medio de puntos establecidos con el GPS se definieron las coordenadas y se obtuvo un croquis sencillo en el portal Google Earth, teniendo en cuenta superficies más o menos homogéneas de los predios y en función de la pendiente del terreno, como zonas de pendiente alta, media o baja.

La información del estudio realizado fue dividida en dos ejes temáticos: La recolectada inicialmente con GPS para la obtención de coordenadas, que después fueron analizadas en Google Earth, para realizar el mapa de los predios y así poder determinar el número de muestras a emplear, por medio de la generación de un mapa de curvas de nivel para cada uno de los predios, y la recolectada en campo a través de una encuesta (Ver Anexo 1) que permitió obtener información socioeconómica, áreas, cultivos y prácticas de manejo agronómico de los usuarios.

2.3 Evaluación de las pendientes del terreno

El mapa de pendientes de cada uno de los predios se realizó a partir del modelo de elevación digital DEM generado para el área de estudio, el cual se obtuvo mediante el servidor de la NASA ASF Data Search Vertex. Para el presente estudio se utilizó el ALOS PALSAR DEM el cual es uno de los recursos cartográficos de ALOS (Advanced Land Observation Satellite) que cuenta con resoluciones de 12,5 y 30 metros de precisión con un periodo de mapeo histórico comprendido entre 2006 y 2011, el DEM utilizado corresponde al código AP_17564_PLR_F0050_RT1. Para hacer el análisis de la información fue necesario establecer la clasificación de las pendientes según el porcentaje de inclinación de la misma, usando la clasificación planteada por Ramalho Filho y Beek (1995) y FEAM (2010).

TABLA 1. Grados de limitación metodológica: Ramalho Filho y Beek (1995) y FEAM (2010).

Pendiente (%)	Grados de limitación
0-3	Nula
3-8	Leve
8-20	Moderada
20-45	Fuerte
>45	Muy fuerte

2.4 Muestreo de suelo

Para realizar el muestreo de suelos se tuvo en cuenta la metodología planteada por el IGAC y para determinar el número de muestras en cada predio se tuvo en cuenta la topografía del terreno a estudiar, generando inicialmente un croquis sencillo del predio a partir de puntos tomados en campo por el GPS los cuales se analizaron posteriormente en Google Earth, adicional a esto, se generó un mapa de curvas de nivel de cada uno de los predios por medio de un modelo de elevación digital DEM para conocer la inclinación y el relieve de las fincas asociadas.

Se realizó un muestreo estratificado basado en las pendientes del terreno para ambos predios, estableciendo cuatro estratos que corresponden a cuatro zonas así: pendiente baja (Entre 0 -3%), pendiente media (Entre 3-8%), pendiente alta (Entre 8-20%) y pendiente muy alta (Entre 20-45%), luego se realizó un muestreo aleatorio simple apoyados en el software ArcGIS, determinando las coordenadas de los puntos de muestreo (Ver tabla 4 y 6). Por cada zona se tomaron 3 submuestras siguiendo la metodología planteada por el IGAC (2014) de aproximadamente 1 kg a 20 cm de profundidad, estas fueron depositadas en bolsas ziploc, selladas para evitar su contaminación y rotuladas, con un número que corresponde a cada sector y una letra para cada usuario, identificando con la letra L el predio 1 y con la letra N el predio 2 con su respectiva georreferenciación.

Por cada zona se tomaron 3 submuestras siguiendo la metodología planteada por el IGAC (2014) de aproximadamente 1 kg a 20 cm de profundidad, estas fueron depositadas

La ubicación de los puntos de muestreo se realizó por medio del GPS con coordenadas simples, las cuales fueron verificadas en el software ArcGIS para tener precisión a la hora de la georreferenciación en campo, se tomaron en total 39 muestras de suelo en el área de estudio, 18 para el predio 1 y 21 para el predio 2.

TABLA 2. Clasificación de la pendiente y área por sector predio 2

Sector	Rango pendiente	Area_m²	Area_Ha
1	20 – 45 (%)	6366,65928	0,636666
2	8 – 20 (%)	2781,21331	0,2781121
3	20 – 45 (%)	5794,00105	0,5794
4	20 – 45 (%)	101,23594	0,010124

5	8 -20 (%)	615,605588	0,061561
6	3 -8 (%)	4358,24808	0,435825
7	0 – 3 (%)	4806,0222	0,480602

TABLA 3. Coordenadas predio 2

% Pendiente	Sectores	Coordenada X	Coordenada Y	COORDENADAS CTM 12	
20_45	N11	-75,513844	3,028074	X_CTM12	Y CTM 12
20_45	N12	-75,513867	3,027776	4720682,108	1892935,731
20_45	N13	-75,513326	3,027771	4720679,474	1892902,78
8_20	N21	-75,513972	3,027563	4720739,623	1892902,087
8_20	N22	-75,513858	3,027435	4720667,746	1892879,25
8_20	N23	-75,513853	3,027309	4720680,388	1892865,064
20_45	N31	-75,513558	3,027492	4720680,911	1892851,128
20_45	N32	-75,513301	3,027268	4720713,757	1892871,291
20_45	N33	-75,513448	3,026969	4720742,274	1892846,451
20_45	N41	-75,512872	3,027553	4720725,853	1892813,421
20_45	N42	-75,512254	3,027454	4720790,045	1892877,86
20_45	N43	-75,512426	3,027214	4720858,731	1892866,752
0_3	N51	-75,512857	3,027169	4720839,546	1892840,254
0_3	N52	-75,512857	3,027169	4720791,614	1892835,388
0_3	N53	-75,512901	3,026934	4720791,614	1892835,388
8_20	N61	-75,512517	3,026984	4720786,662	1892809,409
8_20	N62	-75,512549	3,026837	4720829,369	1892814,84
8_20	N63	-75,51243	3,026753	4720825,773	1892798,591
3_8	N71	-75,512589	3,027019	4720838,983	1892789,27
3_8	N72	-75,51261	3,026975	4720821,373	1892818,73
3_8	N73	-75,512581	3,026932	4720819,027	1892813,869

TABLA 4. Clasificación de la pendiente y área por sector Predio 1

Sector	Rango Pend	Area_m ²	Area_Ha
1	20 – 45 (%)	4666,276268	0,466628
2	20 – 45 (%)	2328,557987	0,232856
3	8 – 20 (%)	3179,013496	0,317901
4	20 – 45 (%)	909,004853	0,0909
5	8 -20 (%)	506,49201	0,004815
6	0-3 (%)	48,150173	0,004815

TABLA 5. Coordenadas predio 1

% Pendiente	Sectores	Coordenada X	Coordenada Y	COORDENADAS CTM 12	
20_45	L11	-75,503412	3,016695	X CTM12	Y CTM 12
20_45	L12	-75,503122	3,017189	4721839,066	1891674,591
20_45	L13	-75,503694	3,017187	4721871,435	1891729,151
20_45	L21	-75,504502	3,01685	4721807,838	1891729,076
20_45	L22	-75,503443	3,017066	4721717,916	1891692,012
20_45	L23	-75,503494	3,017358	4721835,714	1891715,63
8_20	L31	-75,503765	3,017421	4721830,118	1891747,936
8_20	L32	-75,50313	3,017292	4721800,003	1891754,973
8_20	L33	-75,503642	3,016738	4721870,572	1891740,544
20_45	L41	-75,504252	3,01706	4721813,505	1891679,406
20_45	L42	-75,50383	3,017341	4721745,765	1891715,173
20_45	L43	-75,504017	3,017373	4721792,756	1891746,142
8_20	L51	-75,503952	3,017199	4721771,973	1891749,729
8_20	L52	-75,504136	3,016967	4721779,156	1891730,469
8_20	L53	-75,504212	3,016765	4721758,639	1891704,858
0_3	L61	-75,503895	3,01683	4721750,137	1891682,538
0_3	L62	-75,503577	3,017077	4721785,399	1891689,645
0_3	L63	-75,503629	3,017482	4721820,818	1891716,881

2.5 Análisis de laboratorio

El análisis de suelos se realizó en el Laboratorio de Recursos Geoagroambientales (LABGAA), ubicado en la Universidad Surcolombiana Facultad de Ingeniería. Se evaluaron los parámetros físicos y químicos del suelo de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas o del IGAC de acuerdo a los protocolos del laboratorio.

2.5.1 Análisis de propiedades físicas

2.5.1.1 Humedad

La determinación de la humedad se realiza teniendo en cuenta la NTC 6230 y se calculó de la siguiente manera:

$$pW = \frac{(P_{mh}-P_c)-(P_{ms}-P_c)}{(P_{ms}-P_c)} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P_w = Porcentaje de humedad expresado con base en muestra de suelo seco a 105 °C (Factor de corrección por humedad).

P_{mh} = Peso de la cápsula con la muestra antes del secado a 105 °C, en g.

P_{ms} = Peso de la cápsula con la muestra después del secado 105 °C, en g.

P_c = peso de la cápsula, en g.

2.5.1.2 Textura

La determinación de la textura se realizó mediante el método de Bouyoucos de acuerdo a lo descrito en la NTC 6299 y se expresa mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Arena (2 a 0,05 mm)} = \frac{100 - \text{lectura a } 40s * (100 + pW)}{50 \text{ g}} \quad (2)$$

$$\% \text{ Arcilla (< 0,002 m)} = \frac{\text{lectura a las } 2h * (100 + pW)}{50 \text{ g}} \quad (3)$$

$$\% \text{ Limo (0,05 A 0,002 mm)} = 100 - (\% \text{ arena} \% \text{ arcilla}) \quad (4)$$

Donde:

pW = Porcentaje de humedad de la muestra a 105 °C (factor de corrección por humedad).

Con las proporciones de arenas, limos y arcillas, se determinó la textura del suelo con el triángulo textural de la USDA (1977) obtenido mediante el laboratorio de suelos Universidad Surcolombiana.

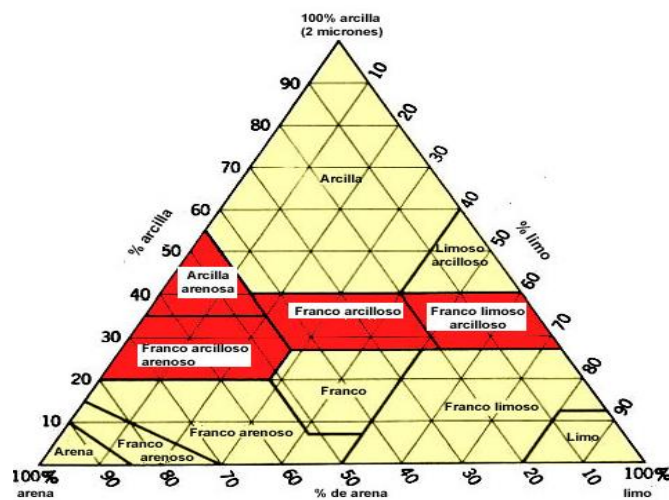


FIGURA 1. Triángulo textural USDA

2.5.1.3 Color

La determinación de este parámetro se realizó en una muestra de suelo seco a una profundidad de 20 cm y empleó el método sistema de ordenación del color Munsell o tabla de colores Munsell.

2.5.1.4 Densidad real

Para la evaluación de la densidad real de las muestras se empleó el método del picnómetro de acuerdo a lo planteado en el libro Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos planteado por el IGAC (2006) y se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$D_s = \frac{M_{pss} - M_{pv} * D_w}{(M_{pw} - M_{pv}) - (M_{pssw} - M_{pss})} \quad (5)$$

Donde:

D_s = Densidad específica, en g/ml

M_{pss} = Masa del picnómetro + suelo seco a 105 °C, en g.

M_{pv} = Masa del picnómetro vacío y seco, en g.

M_{pw} = Masa del picnómetro + agua, en g.

M_{pssw} = Masa del picnómetro + agua + suelo seco, en g.

D_w = Densidad del agua.

2.5.1.5 Densidad aparente

La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro, con muestras no disturbadas y se halló por medio de la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{P_{ss}}{V_s} * 100 \quad (6)$$

Dónde:

DA = densidad aparente (g/cc)

P_{ss} = peso de suelo seco (g)

V_s = volumen no disturbadas de suelo (cc)

2.5.1.6 Porosidad

Conociendo la densidad aparente y real de cada muestra se determinó la porosidad a través de la siguiente ecuación:

$$\%Pt = 100 * \left(\frac{1 - D_a}{D_r} \right) \quad (7)$$

Dónde:

Pt = porosidad total (%)

D_a = densidad aparente (g/cm³)

Dr = densidad real (g/cc)

2.5.2 Análisis de propiedades químicas

2.5.2.1 pH

El procedimiento se realizó de acuerdo con lo descrito en la NTC 5264, usando una proporción suelo agua 1:1 (peso/ volumen), y tomando la lectura directamente con el potenciómetro con electrodo de vidrio y el multiparámetro de BANTE.

2.5.2.2 Acidez intercambiable

Se determinó según lo descrito en la NTC 5263 y se expresó mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{Aicmol(+)}{kg} \text{ de suelo} = \frac{(v-Bp) \times Mx(100+pW)}{w} \quad (8)$$

Donde:

Ai= Acidez intercambiable en cmol (+) /kg de suelo.

V=Volumen de solución de NaOH gastado en la titulación de la muestra en ml.

Bp= Volumen de la solución NaOH gastado en la titulación del blanco de proceso en ml.

M= Molaridad de la solución de NaOH

pW= Porcentaje de humedad expresado con base en suelo seco a 105°C (factor de corrección por humedad)

W= Peso de la muestra en g.

2.5.2.3 Conductividad eléctrica (C.E)

La conductividad eléctrica es un método que aporta información sobre la salinidad del medio evaluado, para la determinación de este parámetro se empleó el método descrito en la NTC 5596:2022 y se realizó la lectura directamente con el Conductivímetro.

2.5.2.4 Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)

La capacidad de intercambio catiónico se determinó siguiendo los parámetros de la NTC 5268, y se calculó de la siguiente manera:

$$CIC = \frac{(V_m - V_b) \cdot N_{NaOH} \cdot (100 + pW)}{Wm} \quad (9)$$

Donde:

C.I.C= Capacidad de intercambio catiónico cmol (+) *kg a 105 °C

V_m= Volumen en mililitros de NaOH gastados en la titulación de las muestras

V_b = Volumen en mililitros de NaOH gastados en la titulación del blanco

N_{NaOH}= Normalidad de NaOH

W_m = Peso en gramos de la muestra seca

pW = Humedad de la muestra a 105 °C, expresada sobre la base seca

$$C. I. C \frac{meq}{100} g = \frac{(V_{-BP}) * N * (100 + pW)}{pm} \quad (10)$$

2.5.2.5 Carbono orgánico

La determinación del Carbono orgánico del suelo se realizó por el método de C. Oxidación húmeda (Determinación colorimétrica) de acuerdo con lo descrito en la NTC 5403:202.

$$C_{orgánico oxidable total}, \% = \frac{L_c * (100 + pW)}{W_m} \quad (11)$$

Donde:

L_c = Valor interpolado de la curva de calibración, en g de carbono orgánico.

W_m = peso de la muestra de suelo, en g.

PW = % (fracción en masa) de humedad de la muestra expresada con base en suelo seco a 105 °C (determinación según la NTC 6230).

2.5.2.6 Carbono orgánico total

El carbono orgánico total se determinó de forma indirecta usando la siguiente expresión:

$$\% COT = \% Carbono oxidable total * 1,34 \quad (12)$$

Donde:

% COT = Porcentaje de carbono orgánico total

1,34 = factor de corrección

2.5.2.7 Materia Orgánica

La materia orgánica se determinó de forma indirecta usando el factor de Van Bemmelen, según Tabatabai, (1996) citado por (Eyherabide et al; 2014) el Factor de Van Bemmelen es 1,724, donde se asume que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de carbono orgánico.

$$\% MO = (1,724 * \% CO) \quad (13)$$

Donde:

% MO: Porcentaje de materia orgánica

% CO: Porcentaje de carbono orgánico

1,724: Factor de Van Bemmelen.

2.5.2.8 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Para determinar capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP) permanente de las muestras analizadas para cada predio, se usó el modelo SOIL WATER CHARACTERISTICS (SWCH), lo anterior debido a que las ollas de Richard del laboratorio no se encuentran operando correctamente. El software SWCH permite determinar PMP (Wilting Point), CC (Field Capacity), humedad de saturación (Saturation), agua útil (Available Water), conductividad eléctrica en manto saturado (Sat. Hydraulic. Cond.) y densidad (Matric Bulk Density) de manera sencilla introduciendo la siguiente información del suelo: clase textural, materia orgánica y salinidad. Para el presente estudio se determinaron las variables de CC, PMP y se generó la curva de retención de humedad para cada uno los sectores de cada predio.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó análisis de correlación de Pearson para los diferentes parámetros evaluados en laboratorio, para determinar si existe correlación entre las diferentes variables estudiadas, y se utilizó la fórmula (14). De igual forma se usó gráficos los cuales permitieron mostrar la información relevante de las variables estudiadas.

$$r = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (14)$$

Donde:

r: Coeficiente de correlación de Pearson

N: Número de elementos

x: Variable 1

y: Variable 2

2.7 Evaluación de la aptitud del suelo

Para el análisis de la aptitud del suelo se usó los siguientes criterios, tomados de la FAO (1976). La ponderación asignada a cada criterio se fundamentó en los requerimientos agronómicos de los cultivos para los cuales se realizó la evaluación.

TABLA 6. Ponderación de parámetros para cada cultivo

Parámetros	Café	Plátano	Maíz	Yuca
	Ponderación (%)			
Capacidad de fertilidad	25	25	20	20
Disponibilidad MO	25	25	20	25
Disponibilidad de agua	15	10	25	25
Disponibilidad de oxígeno	15	10	10	5
Resistencia a la erosión	10	15	10	5
Tipo de drenaje	5	10	10	15
Uso de implementos agrícolas	5	5	5	5

2.7.1 Capacidad de fertilidad

Para el análisis de este parámetro se evaluaron las propiedades químicas contenido de carbono (%C), pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC), generando la clasificación que se muestra en la tabla 7 asignando valores de 2 a 10, luego de obtener los valores para cada sector se promedian y se interpreta el grado de fertilidad de acuerdo con la expuesto en la tabla 8 y 9.

TABLA 7. Propiedades químicas de los suelos para calcular fertilidad

Clasificación	%C	pH	CIC (meq/100 g)
2	0-5	<4; >8	0-8
4	5-10	4,5-5,5	8-16
6	10-15	7,5-8	16-20
8	15-20	5,5-6,5	24-32
10	>20	6,5-7,5	>32

TABLA 8. Interpretación grados de fertilidad.

Clasificación	Interpretación
>8,4	Muy alta
8,4-6,8	Alta

6,7-5,2	Moderada
5,1-3,6	Baja
<3,6	Muy baja

TABLA 9. Coeficientes capacidad de fertilidad

Capacidad de fertilidad	
Interpretación	Valor
Muy alta	0,4
Alta	0,6
Moderada	0,8
Baja	1,0
Muy baja	0,2

2.7.2 Disponibilidad de materia orgánica

Para determinar la disponibilidad de materia orgánica se evaluó el porcentaje de materia orgánica y se clasificó de acuerdo a lo planteado en la tabla 10 y 11.

TABLA 10. Disponibilidad de materia orgánica

Grado	% Materia orgánica
Muy alta	<2
Alta	2-5
media	5-10
Baja	>10

TABLA 11. Coeficiente contenido de materia orgánica

Disponibilidad de materia orgánica	
Muy alta	0,6
Alta	0,8
Media	1
Baja	0,4

2.7.3 Disponibilidad de agua

Para determinar la disponibilidad de agua se tuvo en cuenta las clases texturales de cada sector como se muestra en la tabla 12 y se clasificó tal como muestra la tabla 13.

TABLA 12. Disponibilidad de agua disponible según las clases texturales del suelo. En función de clases texturales: Ar: Arcilloso; L: Limoso; A: Arenoso; Franco

Grado	Capacidad de retención de agua disponible
Alto 1	Ar, FAr, FArL, FL, ArL, ArA
Medio 2	FArA, Ar, F, FA, L
Bajo 1	A, AF Gravillas y pedregoso

TABLA 13. Disponibilidad de agua

Disponibilidad de agua	
Interpretación	Valor
Alto	0,66
Medio	1
Bajo	0,33

2.7.4 Disponibilidad de oxígeno y tipo de drenaje

Para determinar la disponibilidad de oxígeno se tuvo en cuenta las clases texturales y el color del suelo y se realizó la clasificación de la condición de drenaje y disponibilidad de oxígeno como se muestra en las tablas 14, 15 y 16.

TABLA 14. Condición de drenaje del suelo para clasificar disponibilidad de oxígeno y tipo de drenaje.

Grado	Condición de drenaje
Muy alto	Excesivamente drenado
Alto	Bien a moderadamente drenado
Medio	Imperfectamente drenado
Bajo	Pobrementemente drenado

TABLA 15. Disponibilidad de oxígeno

Disponibilidad de oxígeno	
Interpretación	Valor
Muy alto	0,75

Alto	1
Medio	0,5
Bajo	0,25

TABLA 16. Coeficientes Tipo de drenaje

Tipo de drenaje	
Interpretación	Valor
Excesivo	0,4
Bien a excesivo	0,6
Bien a moderado	1
Bien drenado	0,8
Imperfectamente drenado	0,2

2.7.5 Resistencia a la erosión

Para evaluar este parámetro se empleó el grado de pendiente que se evidencia en la tabla 17 y se clasificó de acuerdo con la tabla 18.

TABLA 17. Resistencia a la erosión según el grado de pendiente

Grado	Descripción
Muy alto 1	Pendiente general del 0-3% en suelos no o muy poco susceptibles a la erosión.
Alto 2	Pendiente general 3-12%, o menos (0-3%) en suelos susceptibles a la erosión
Medio 3	Pendiente general 12-25%, o menos (3-12%) en suelos muy susceptibles a la erosión
Bajo 4	Pendiente general mayor de 25%, o menos (12-25%) en suelos muy susceptibles a la erosión

TABLA 18. Coeficientes resistencia a la erosión

Resistencia a la erosión	
Interpretación	Valor
Muy alta	0,25
Alta	0,5
Medio	0,75
Bajo	1

2.7.6 Uso de implementos agrícolas

Para evaluar el parámetro uso de implementos agrícolas se consideró el grado de pendiente y se clasificó de acuerdo con la tabla 19 y 20.

TABLA 19. Uso de Implementos agrícolas

Grado	Pendiente %	
	Tracción mecánica	Tracción animal
Muy alto 1	0-3	--
Alto 2	3-7	--
Moderado 3	7-12	--
Moderada/ Bajo 4	--	12-25
Bajo 5	--	>25

TABLA 20. Coeficientes uso de implementos agrícolas

Uso de implementos agrícolas	
Interpretación	Valor
Muy alto	0,30
Alto	0,67
Moderado	0,83
Moderado bajo	1
Bajo	0,20

Después de evaluar cada uno de los criterios, se les asignó un coeficiente que se multiplicó teniendo en cuenta los requerimientos agronómicos específicos de los cultivos para los cuales se realizó la evaluación (ver tabla 6). De acuerdo con el porcentaje obtenido, se realizó la clasificación por cultivo. Luego, se sumaron estos resultados para definir la clasificación de aptitud, como se muestra en la tabla 21. Este rango nos permitió llevar a cabo la posterior interpretación para determinar la aptitud del suelo para cada uno de los cultivos presentes en la zona de estudio.

TABLA 21. Clasificación aptitud de suelo

Interpretación		Clasificación
N	No Apto	< 0,25
A3	Marginalmente Apto	0,25-0,50
A2	Moderadamente Apto	0,50-0,75
A1	Altamente Apto	0,75-1

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Zonificación ambiental vereda el Vergel

La Vereda el Vergel del Municipio de Palermo, se encuentra dividida en 16 parcelas tal como se muestra en la Figura 2, en donde el 80% del área de la vereda se destaca uso agropecuario conservacionista, los predios estudiados se encuentran ubicados dentro de la parcelación 1.

Como resultado de la encuesta realizada se pudo identificar que ambos predios tienen uso de suelo agrícola, los cultivos principales del predio 1 son: café, plátano, yuca y en el predio 2 además de los mencionados anteriormente se encuentra maíz y caña de azúcar. El manejo de los cultivos es mediante un sistema de producción tradicional en la cual, para las actividades agrícolas tales como limpia, planteado y ahoyado, utilizan herramientas manuales como, pala, palín, machete, picos, además la fertilización es realizada de forma manual, las prácticas de cultivo como análisis de suelo no son muy frecuentes como se puede evidenciar en el anexo 1.

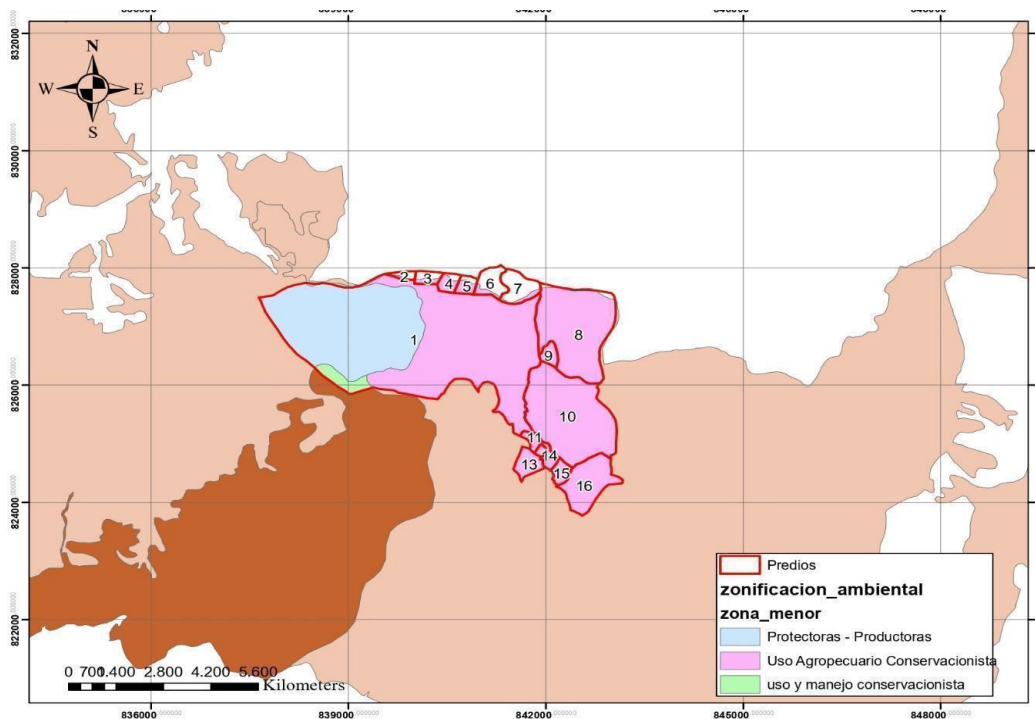


FIGURA 2. Zonificación ambiental.

3.2 Análisis de la información e interpretación espacial

3.2.1 Mapa de pendientes del suelo para los predios estudiados

El análisis de la información recolectada fue obtenido a partir de la información suministrada en el Geoportal Earth Data el cual permitió generar un modelo de elevación digital (DEM). Esto se realizó con el fin de identificar las características de la zona como la topografía, teniendo en cuenta principalmente las elevaciones y depresiones del terreno, el modelo de elevación generó un ráster

o pixeles con la información de la zona de estudio y esto a su vez permitió realizar la clasificación de las pendientes del terreno teniendo en cuenta los grados de limitación del uso del suelo. En la figura 3 y 4 se representa el mapa de pendientes correspondiente a cada uno de los predios evaluados.

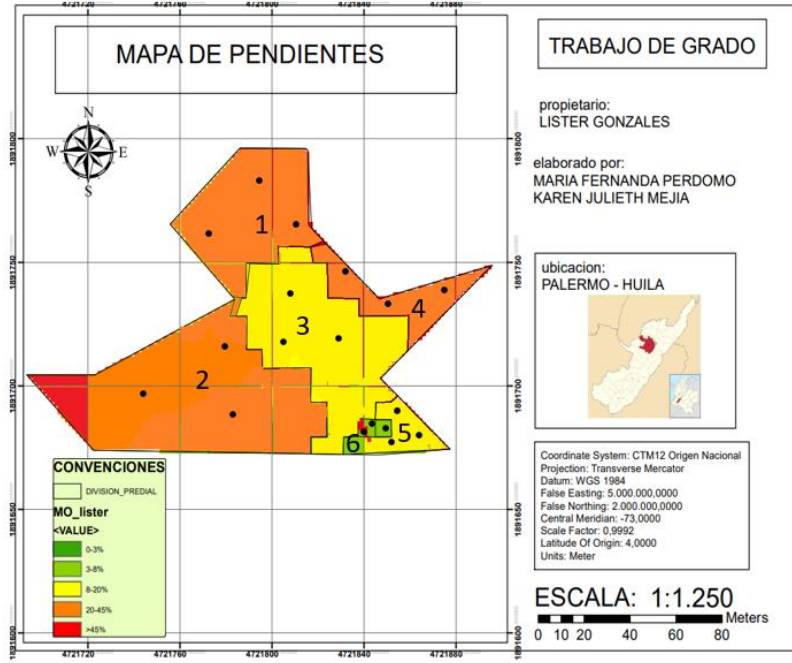


FIGURA 3. Mapa de pendientes predio 1.

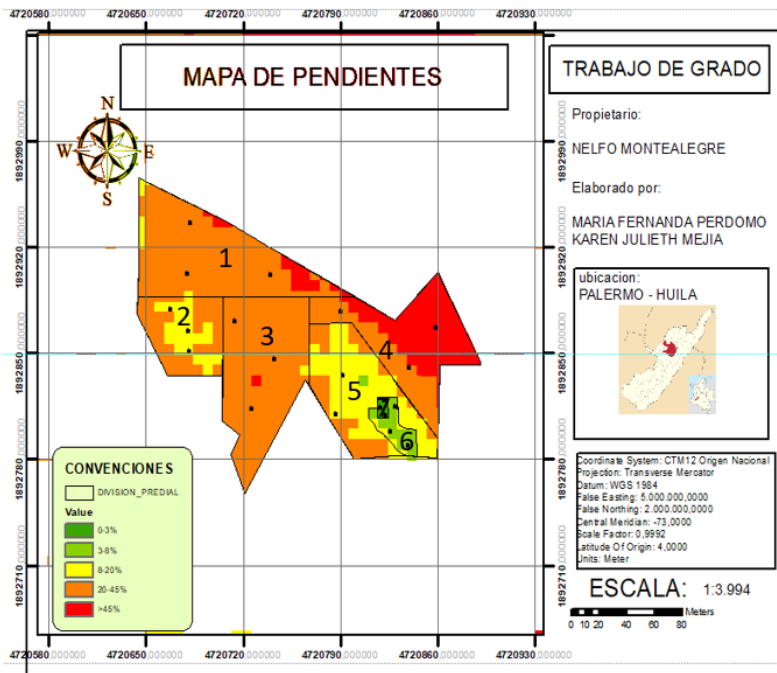


FIGURA 4. Mapa de pendientes predio 2.

En ambas parcelas, el terreno presenta una pendiente predominante entre 20 y 45%, lo que conlleva implicaciones significativas en cuanto a la erosión del suelo y la escorrentía superficial, dificultando así el manejo de los cultivos. Por esta razón, resulta de vital importancia llevar a cabo la implementación de obras de manejo conservacionista para mitigar estos efectos negativos.

3.3 Parámetros físicos y químicos del suelo

3.3.1 Análisis de los parámetros físicos

Se evidencia en las tablas (22 y 23) y las tablas (24 y 25) los promedios de los parámetros físicos y químicos evaluados en los diferentes sitios de muestreo en cada uno de los predios.

TABLA 22. Parámetros físicos obtenidos en el predio 1

PREDIO 1									
Parámetros físicos									
ID Muestra	% Pendiente	% Humedad	Dr (g/cm³)	Da (g/cm³)	Textura	% Porosidad	Color	% C.C	% P.M.P
L1	20_45	5,90	2,60	1,24	F	52,54	Dark brown	26,7	12,6
L2	20_45	5,03	2,43	1,02	FAr	58,06	Light yellowish brown	35	21,3
L3	8_20	4,28	2,64	1,23	FAr	53,30	Pale olive	35,9	21,9
L4	20_45	5,41	2,64	1,14	FAr	56,74	Light yellowish brown	35,4	21,6
L5	8_20	4,05	2,60	1,10	FAr	57,65	Brownish yellow	35,4	21,6
L6	0_3	3,08	2,50	1,15	FAr	53,83	Red dish gray	35,7	21,7

TABLA 23. Parámetros químicos obtenidos en el predio 1

PREDIO 1							
Parámetros químicos							
ID Muestra	pH	Acidez	C.E (ds/m)	% MO	%CO	C.I.C (meq/100 g)	% Arcilla
L1	4,58	5,82	0,04	3,74	2,17	35,64	24
L2	4,45	5,31	0,04	3,70	2,14	37,34	34
L3	4,56	1,49	0,04	4,03	2,34	37,19	34
L4	4,80	5,07	0,04	3,19	1,85	32,22	33
L5	4,40	7,34	0,06	3,39	1,97	39,54	32
L6	4,42	5,53	0,04	3,56	2,07	35,21	28

TABLA 24. Parámetros físicos obtenidos en el predio 2

PREDIO 2									
Parámetros físicos									
ID Muestra	% Pendiente	% Humedad	Dr (g/ cm³)	Da (g/cm³)	Textura	% Porosidad	Color	% C.C	% P.M.P
N1	20_45	10,53	2,63	1,06	FAr	59,789	Light olive brown	35,7	21,7
N2	8_20	10,57	2,65	1,48	Ar	44,131	Light olive brown	41,9	30,1
N3	20_45	10,20	2,60	1,11	Ar	57,103	Light olive brown	41,8	30,1
N4	20_45	6,20	2,67	1,08	FAr	59,263	Brownish yellow	35,8	21,8
N5	0_3	7,80	2,63	1,29	FAr	51,139	Light yellowish brown	35,7	21,8
N6	8_20	12,31	2,70	1,08	Ar	60,127	Pale brown	41,8	30,1
N7	3_8	9,26	2,66	0,90	Ar	66,135	Brownish yellow	41,8	30,1

TABLA 25. Parámetros químicos obtenidos en el predio 2

PREDIO 2							
Parámetros químicos							
ID Muestra	% Pendiente	pH	C.E (ds/m)	% MO	%CO	C.I.C (meq/100 g)	% Arcilla
N1	20_45	5,80	0,06	4,23	2,45	17,24	37
N2	8_20	5,13	0,08	3,30	1,91	22,13	40
N3	20_45	5,38	0,1	3,82	2,21	23,38	44
N4	20_45	5,35	0,06	4,52	2,62	28,18	39
N5	0_3	5,63	0,08	3,69	2,14	30,08	45
N6	8_20	5,52	0,06	3,87	2,25	27,96	41
N7	3_8	5,23	0,06	3,82	2,22	22,63	40

Los suelos en pendientes con grados de inclinación de 8-20% y 20-45% mostraron mayor contenido de humedad en general. De igual forma, el predio 2 mostró mayor contenido de humedad en comparación con el predio 1, así como, mayor porosidad (figura 5). Lo anterior es coherente por lo planteado por Pachepsky et al., 2001 quienes mencionan que el porcentaje de humedad está estrechamente relacionado con la estructura del suelo, el tamaño de los agregados y la presencia de macroporos y microporos, lo que afecta su capacidad de liberar o drenar el agua.

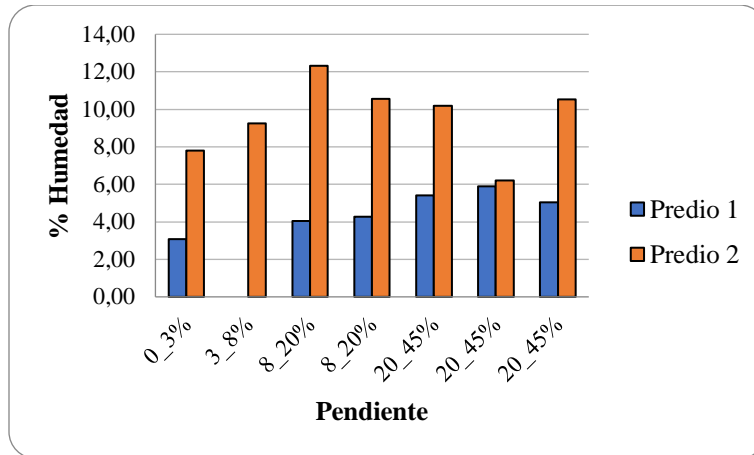


FIGURA 5. Diagrama de barras de contenido de humedad para cada predio

Textura

La Textura predominante en el predio 1 es franco arcillosa en el predio 2 se encuentra en proporciones iguales textura franco arcillosa y arcillosa. White, (2005), menciona que la textura es una propiedad de gran interés relacionada con procesos de degradación y producción; de igual forma la FAO, (2014) mencionan que es una propiedad física del suelo importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. Lacasta *et al.*, (2005), indican que la textura influye en otras propiedades del suelo tales como la densidad aparente, la porosidad, las cuales se relacionan con el movimiento y el almacenamiento de agua y aire en el suelo.

El suelo de ambos predios, debido a que prevalece la presencia de arcillas se consideran suelos con alta capacidad de retención de humedad y mayor capacidad de absorción de nutrientes, lo anterior es respaldado por lo sugerido por Lacasta *et al.*, (2005), quienes mencionan que en los suelos de textura fina donde predomina la arcilla se tiene una mayor capacidad de absorción de nutrientes, puesto que en los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial.

Densidad real

Los resultados obtenidos para cada uno de los predios evaluados arrojaron valores mínimos de 2.43 g/ml y 2.60 g/ml para el predio 1 y 2 respectivamente, así como valores máximos de 2.64 g/ml y 2.70 g/ml para el predio 1 y 2 respectivamente. Estos valores se encuentran cercanos a 2,65 g/ml, valor de referencia ideal para suelos agrícola según (FAO, 2014).

Densidad Aparente

La densidad aparente es una de las variables que más influye sobre la productividad de los cultivos, debido a la relación que presenta con las demás propiedades del suelo. Tal como lo menciona Pritchett, citado por Castillo, 2005 los suelos de textura fina (arcillosos) poseen un valor entre 1 y 1,2 g/cm³ y suelos con textura franca entre 1,3 a 1,4 g/cm³, esto es consistente con los resultados obtenidos, como se evidencia en la figura 6 el predio 1 presentó un valor mínimo de 1,02 g/cm³ para una textura franco arcillosa y un valor máximo de 1,24 g/cm³ en una textura franca y el predio 2 con un valor mínimo de 0,9 g/cm³ con textura arcillosa y máximo de 1,48 g/cm³. De acuerdo con (Salamanca y sadeghian, 2005) la densidad aparente (DA) se encuentra estrechamente relacionada con la cantidad de materia orgánica (MO) y el espacio poroso, esto a su vez indica que a mayor contenido de materia orgánica y espacio poroso se obtiene un valor de densidad aparente menor y viceversa. siendo evidente en el análisis de la figura 6 en donde la densidad aparente con valores inferiores corresponde a los valores de mayor contenido de materia orgánica y viceversa. (Valencia, 1999), considera la DA como uno de los factores claves para determinar la productividad de los suelos sembrados en café en Colombia.

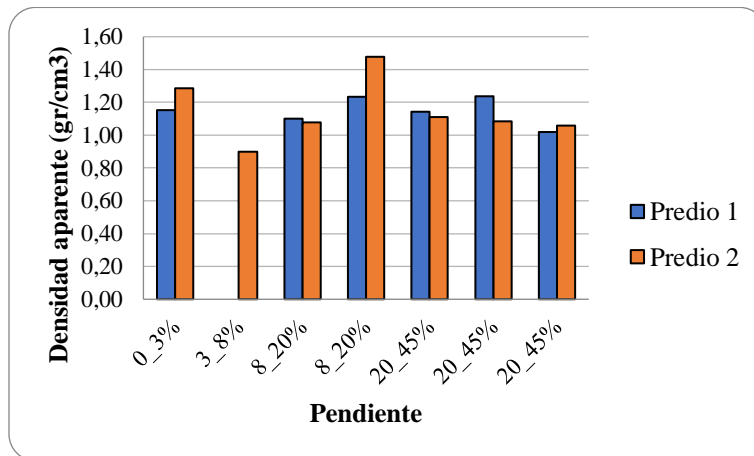


FIGURA 6. Diagrama de barras de densidad aparente para cada predio

Porosidad

El predio 1 tiene una porosidad mínima de 52,54% y una máxima de 58,06%, mientras que el predio 2 una porosidad mínima de 44,1% y una máxima de 66,135% siendo el valor más alto para ambos predios, sin embargo, los valores encontrados para ambos predios se encuentran dentro de los rangos óptimos para suelos agrícolas de acuerdo a lo planteado por Olson, (1985), quien señala que en general el espacio poroso varía entre un 40% y 60 %.

Klein & Libardi, (2002) aseguran que el principal efecto de la compactación causada por algunas labores de uso y manejo del suelo sobre la DA se ve reflejado en la porosidad, ya que al aumentar la DA disminuyen los macroporos y aumentan los microporos, causando deficiencias de aireación para el sistema radical de las plantas por períodos mayores a 24 horas. Lo anterior se comprueba con los resultados obtenidos, especialmente en el predio 2 donde para las muestras 6 y 7 se encontraron valores de porosidad de 60.127% y 66.135% con densidades aparente de 1.08 g/cm³ y 0.9 g/cm³.

Es importante resaltar que la porosidad está inversamente relacionada con la densidad real y aparente de los suelos, arrojando una correlación negativa. Porosidad y retención de agua son dos parámetros que se encuentran estrechamente vinculados ya que la capacidad de retención de agua en el suelo es dependiente del número de poros, de la distribución de tamaño de poros y de la superficie específica de cada suelo (Krull et al., 2004)

3.3.2 Análisis de los parámetros químicos

pH

El 75 % de las muestras evaluadas presentan valores de pH que oscilan entre 4.5 y 5.5, para los dos predios, valores que clasifican como fuertemente ácidos y ácidos. Estos valores se encuentran fuera del rango óptimo para el establecimiento de cultivos, por lo que es necesario realizar labores que permitan mejorar el pH del suelo. Según Prasad and Power, (1997), el pH óptimo de los suelos agrícolas debe variar entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad. De igual forma, Benton, (2003) indica que el pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados. Por otra parte, Edward, (2000) menciona que valores extremos del pH pueden afectar la estructura del suelo.

Acidez

La acidez intercambiable (H^+ y Al^{3+}) se evaluó para el predio 1, ya que fue el predio que presentó los valores de pH con resultado de suelo muy ácido y fuertemente ácido. El estudio de la acidez para este predio arrojó que el sector 5 fue el que mayor acidez presentó con un valor de 7,34 meq/100gr clasificándose como suelos ligeramente ácidos, de igual forma en el sector 3 se presentó un valor de 1,49 meq/100gr, clasificándose como suelos de acidez media. Esto una de las variables más limitantes y comunes para la producción de diferentes cultivos (Gutiérrez & Restrepo, 2019).

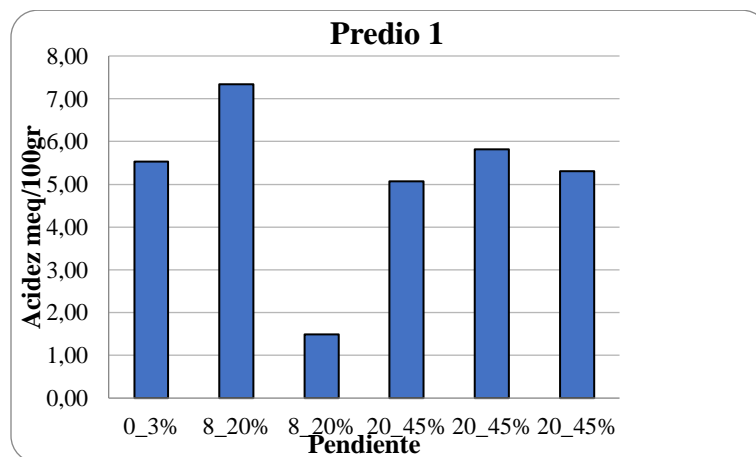


FIGURA 7. Diagrama de barras de acidez predio 1.

Conductividad eléctrica

Los resultados obtenidos en la evaluación de este parámetro en ambos predios, indican que la conductividad eléctrica no supera los 2 ds/m, por lo que se considera que los predios no poseen suelos salinos, lo cual no genera afectaciones al desarrollo de los cultivos presentes en la zona, encontrándose dentro de los rangos óptimos establecidos por la clasificación de las tierras por su capacidad de uso (IGAC, 2021), donde establece que un suelo con un rango de conductividad eléctrica entre 0 y 2 ds/m es un suelo normal, es decir que los suelos están libres de sales solubles.

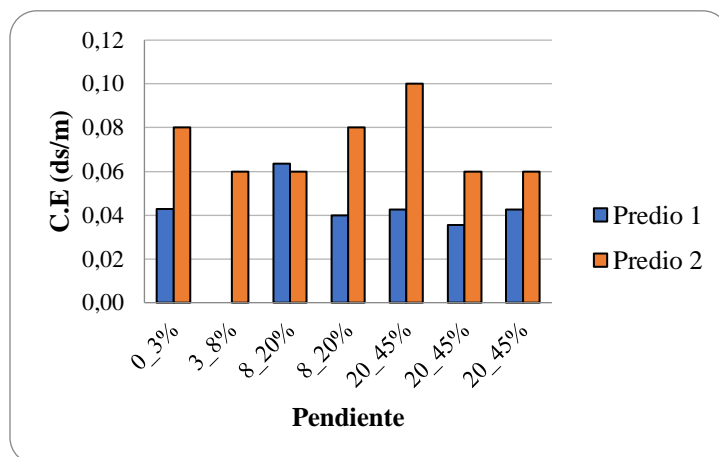


FIGURA 8. Diagrama de barras de C.E para cada predio

Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)

Según la FAO (2014), la CIC indica la habilidad de los suelos para retener cationes, afecta la disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, el pH potencial del suelo, además de ser un indicador del contenido de materia orgánica. Para el caso de estudio se considera que los valores obtenidos de CIC se consideran adecuados para la producción agrícola, encontrándose en el rango medio a medio alto en algunos casos Moro (2015).

En el predio 1 para la textura de suelo franco arcillosa, se presentaron valores de CIC que oscilan entre 32,22 meq/100g y 39,54 meq/100g, mientras que para ese mismo tipo de suelo en el predio 2 entre 17,24 meq/100g y 30,08 meq/100g, estos resultados son similares a los reportados por Sonon et al., (2022), donde para texturas franco arcillosas los valores de CIC varían entre 15 y 30 meq/100g. Para la textura Arcillosa presentada en el predio 2 los valores de CIC son inferiores a los reportados por Sonon et al., (2022) ya que los valores encontrados están por debajo de los 30 meq/100g. Lo anterior puede deberse a que el pH del suelo evaluado se encuentra alrededor de 5.0 y el reportado por Sonon et al., (2022) es de 7.0. Krull et al., (2004), menciona que los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el valor del pH, en éste mismo sentido Pérez et al., (2017) y Sánchez et al., (2019), coinciden en que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) estima los sitios de carga de las arcillas, tanto las cargas permanentes, como las cargas dependientes de pH en función del tipo de arcilla.

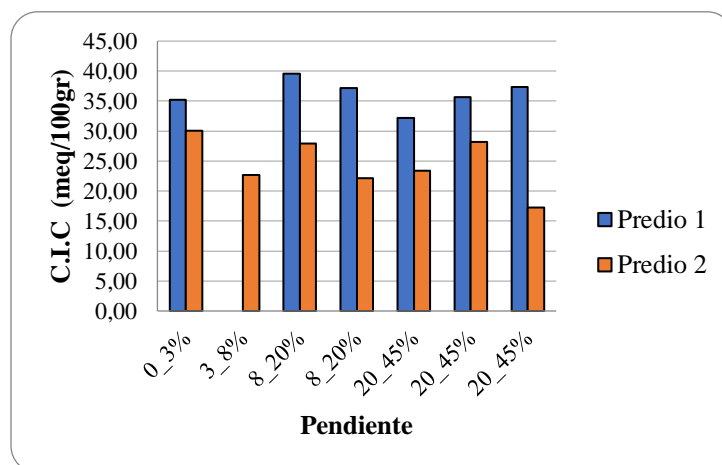


FIGURA 9. Diagrama de barras de % C.I.C para cada predio

Carbono orgánico (CO)

Los predios evaluados presentaron valores mayores a 1,8 % en cada uno de los sectores, siendo 2,62% el valor mayor presentado por el predio 2. Este factor se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, el cual se vincula con la calidad y disponibilidad de los nutrientes presentes en el suelo (Martínez et al; 2008). En cuanto a la pendiente los predios presentan una tendencia de valores mayores de carbono orgánico en pendientes más elevadas, es decir pendientes de 8-20% y de 20-45%, presentan un mayor contenido de CO, lo que puede indicar un mayor tamaño de los agregados.

Materia orgánica (MO)

Ambos predios presentaron valores mayores al 3% en referencia al contenido de materia orgánica, lo cual se relaciona con la textura del suelo, ya que se clasificaron como suelos francos, franco arcilloso y arcilloso. Para Gros y Domínguez (1992), el nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%, pudiendo descender a 1,65% en suelos pesados y llegar a un 2,5% en los arenosos. El predio 1, presentó el valor de 4,03% siendo este valor el más alto para el predio el cual corresponde al sector 3 con textura franco arcillosa, y el predio 2 presentó el mayor valor de contenido de materia orgánica de los dos predios siendo el valor de 4,23% el cual corresponde al sector 1 con una textura franco arcillosa, se evidenció en ambos predios que el mayor contenido de materia orgánica se presentó en sectores con textura franca y el menor contenido para sectores con textura fina como la arcillosa. El contenido de materia orgánica brinda una estabilidad estructural de los suelos y brinda una adecuada penetración y retención del agua (Julca et al; 2006), por lo que se puede deducir que para los predios evaluados hubo una consistencia entre los parámetros evaluados y las condiciones de esos suelos para los cultivos en mención.

3.3.2.7 Curva de retención de humedad mediante el Modelo Soil Water Characteristics

3.3.2.7.1 Predio 1

<p>SECTOR 1 : Pendiente 20-45% Textura: Franca (F)</p>	<p>SECTOR 2: Pendiente 20-45% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>
<p>The graph for Sector 1 shows three curves plotted against Soil Moisture (% Vol.) on the x-axis (0 to 60). The left y-axis represents Potential (kPa) from 0 to 1500. The right y-axis represents Hydraulic Cond. (mm/hr) on a logarithmic scale from 0.001 to 100. The green curve (Matric Potential) starts at approximately 1500 kPa at 10% moisture and drops to near 0 kPa at 25% moisture. The red curve (Matric + Osmotic) follows a similar path but is slightly lower. The blue curve (Hydraulic Cond.) starts at approximately 0.001 mm/hr at 25% moisture and increases to about 10 mm/hr at 60% moisture.</p>	<p>The graph for Sector 2 shows three curves plotted against Soil Moisture (% Vol.) on the x-axis (0 to 60). The left y-axis represents Potential (kPa) from 0 to 1500. The right y-axis represents Hydraulic Cond. (mm/hr) on a logarithmic scale from 0.001 to 100. The green curve (Matric Potential) starts at approximately 1500 kPa at 20% moisture and drops to near 0 kPa at 30% moisture. The red curve (Matric + Osmotic) follows a similar path but is slightly lower. The blue curve (Hydraulic Cond.) starts at approximately 0.001 mm/hr at 30% moisture and increases to about 10 mm/hr at 60% moisture.</p>
<p>SECTOR 3: Pendiente 8-20% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>	<p>SECTOR 4: Pendiente 20-45% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>
<p>The graph for Sector 3 shows three curves plotted against Soil Moisture (% Vol.) on the x-axis (0 to 60). The left y-axis represents Potential (kPa) from 0 to 1500. The right y-axis represents Hydraulic Cond. (mm/hr) on a logarithmic scale from 0.001 to 100. The green curve (Matric Potential) starts at approximately 1500 kPa at 20% moisture and drops to near 0 kPa at 30% moisture. The red curve (Matric + Osmotic) follows a similar path but is slightly lower. The blue curve (Hydraulic Cond.) starts at approximately 0.001 mm/hr at 30% moisture and increases to about 10 mm/hr at 60% moisture.</p>	<p>The graph for Sector 4 shows three curves plotted against Soil Moisture (% Vol.) on the x-axis (0 to 60). The left y-axis represents Potential (kPa) from 0 to 1500. The right y-axis represents Hydraulic Cond. (mm/hr) on a logarithmic scale from 0.001 to 100. The green curve (Matric Potential) starts at approximately 1500 kPa at 20% moisture and drops to near 0 kPa at 30% moisture. The red curve (Matric + Osmotic) follows a similar path but is slightly lower. The blue curve (Hydraulic Cond.) starts at approximately 0.001 mm/hr at 30% moisture and increases to about 10 mm/hr at 60% moisture.</p>
<p>SECTOR 5: Pendiente 8-20% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>	<p>SECTOR 6: Pendiente 0-3% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>

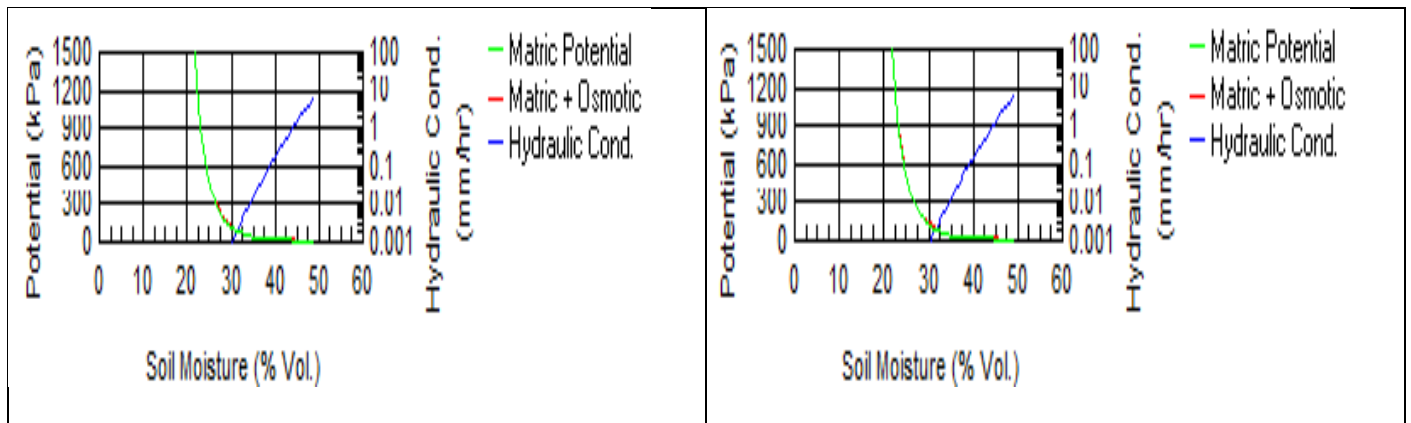


FIGURA 10. Curva de retención de humedad predio 1

3.3.2.7.2 Predio 2

<p>SECTOR 1: Pendiente 20-45% Textura: Franco Arcilloso (FAr)</p>	<p>SECTOR 2: Pendiente 8-20% Textura: Arcillosa (Ar)</p>
<p>SECTOR 3: Pendiente 20-45% Textura: Arcillosa (Ar)</p>	<p>SECTOR 4: Pendiente 20-45% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>
<p>SECTOR 5: Pendiente 0-3% Textura: Franco Arcillosa (FAr)</p>	<p>SECTOR 6: Pendiente 8-20% Textura: Arcillosa (Ar)</p>

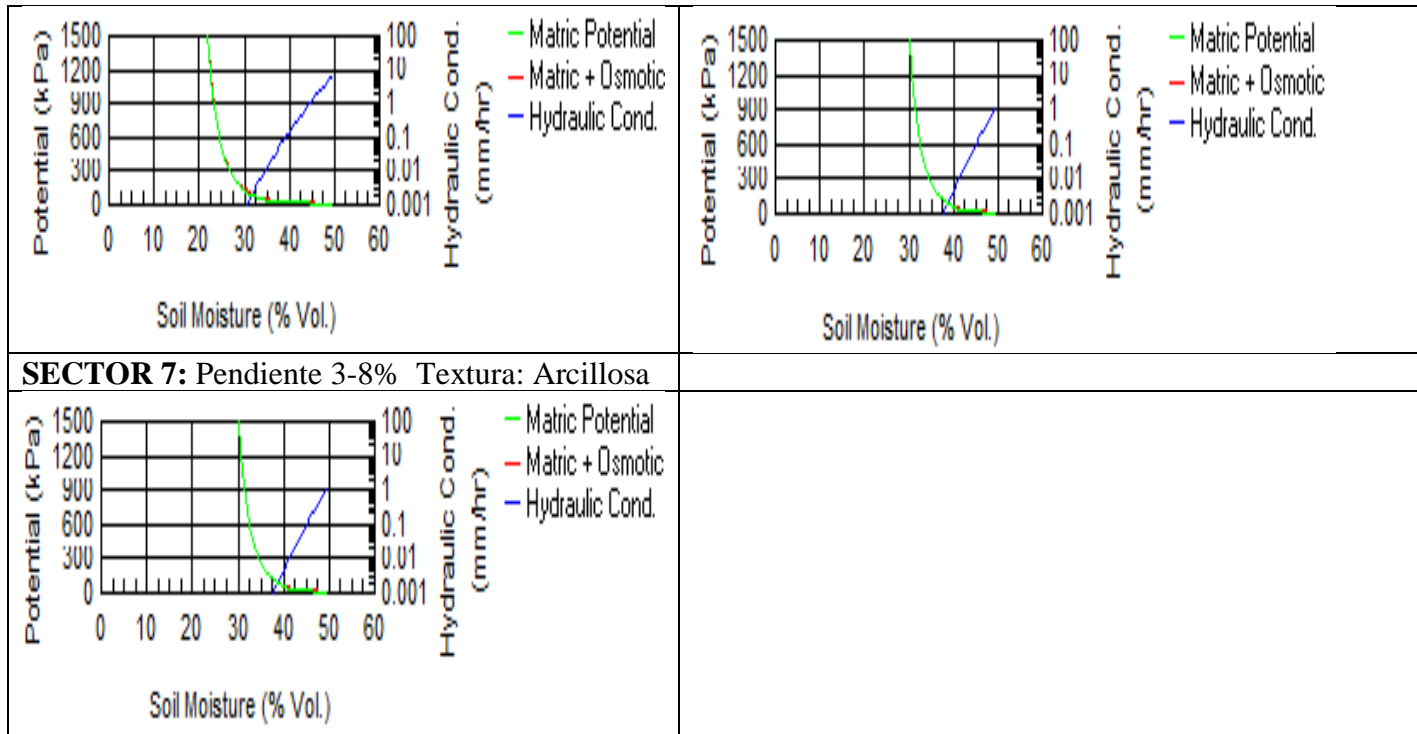


FIGURA 11. Curva de retención de humedad predio 1

La presión se encuentra entre 33 kPa y 1500 kPa, lo que corresponde a Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) respectivamente. Como se observa en las figuras (10 y 11) se encontró que la textura Ar presenta menor cantidad de agua disponible siendo de 0,12 cm/cm y la textura F Y FAr de 0,14 cm/cm. El suelo de textura arcillosa tiene mayor capacidad de retención de agua teniendo CC de 41,8% además presenta un PMP alto, por el contrario, el suelo de textura F presenta una menor cantidad de agua retenida a CC y un PMP bajo en comparación con las otras dos clases texturales encontrados en este suelo, como se evidencia en ambos predios el cual el valor de CC Y PMP es bajo en los suelos francos.

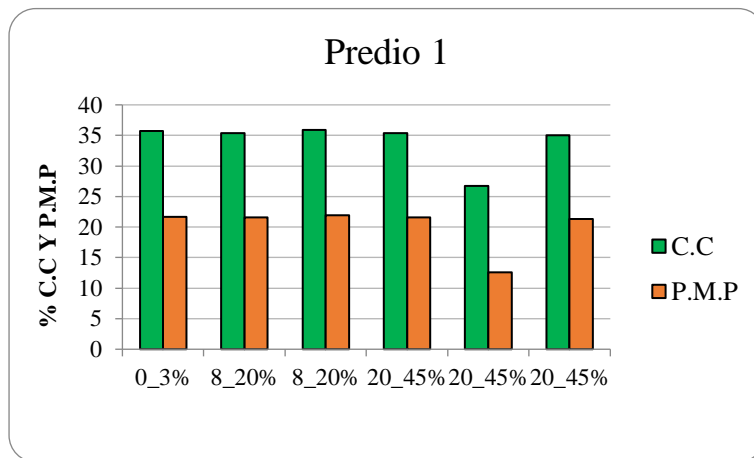


FIGURA 12. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente predio 1

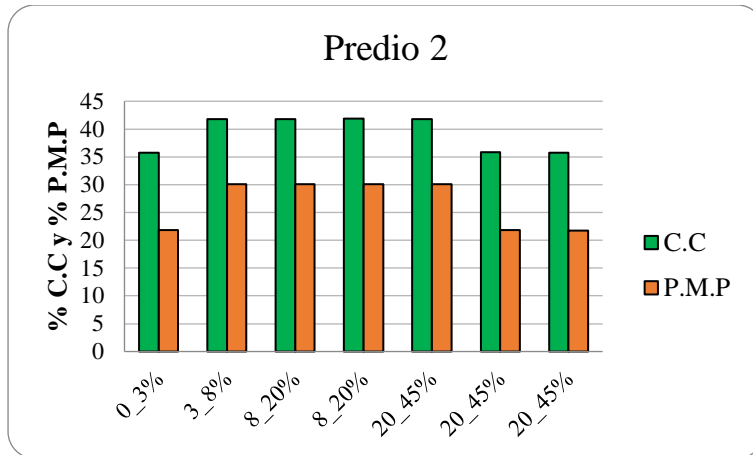


FIGURA 13. Porcentaje de capacidad de campo y punto de marchitez permanente predio 2

3.4 Análisis espacial con datos de muestreo de suelo utilizando SIG

Con los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros físicos y químicos de los suelos para cada predio, se procedió a la elaboración de mapas de análisis espacial mediante SIG, haciendo uso del software ArcGIS usando herramientas de interpolación como Kriging la cual permitió seleccionar y extraer la información de cada punto de coordenadas de los predios y así poder representarla en cada mapa de los parámetros evaluados, de tal manera que se pudiera obtener una mejor visualización de las variables estudiadas. En las figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19. se presenta el resultado obtenido para cada predio, para las variables pH, materia orgánica y textura del suelo.

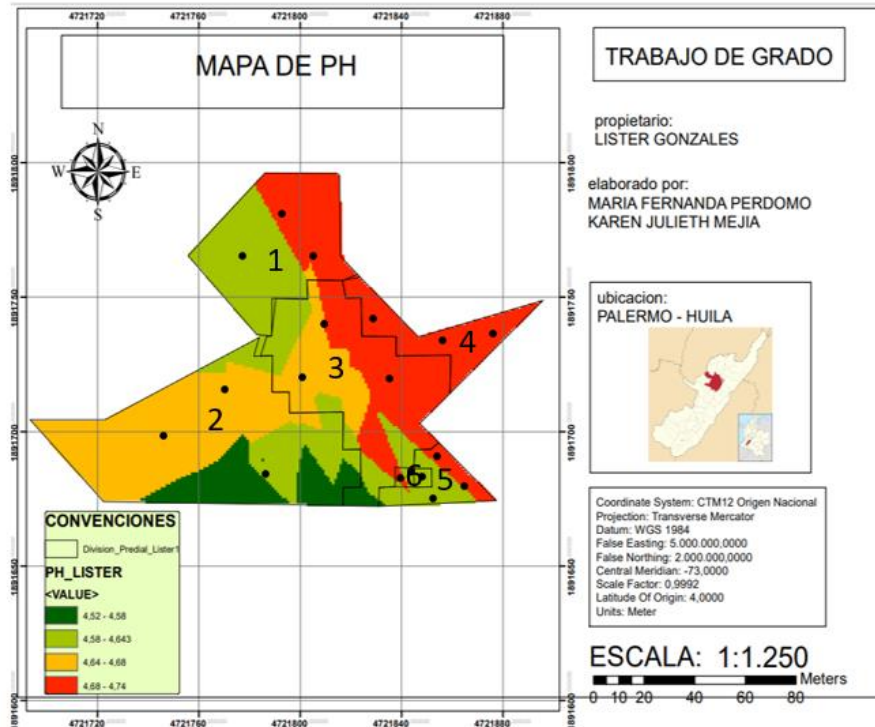


FIGURA 14. Mapa pH predio 1

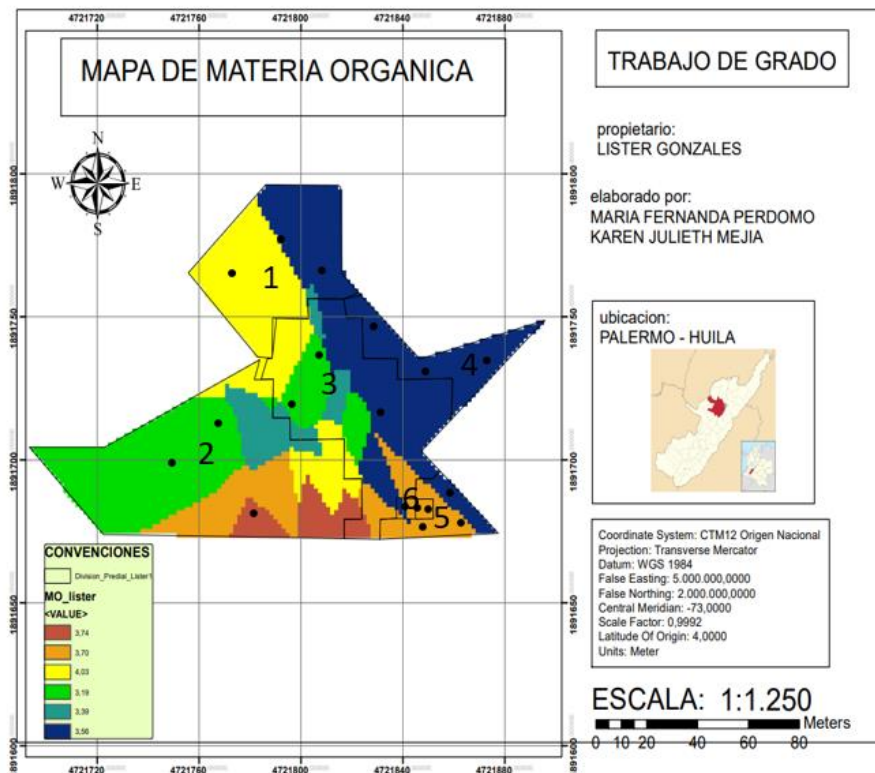


FIGURA 15. Mapa de contenido de materia orgánica del suelo predio 1

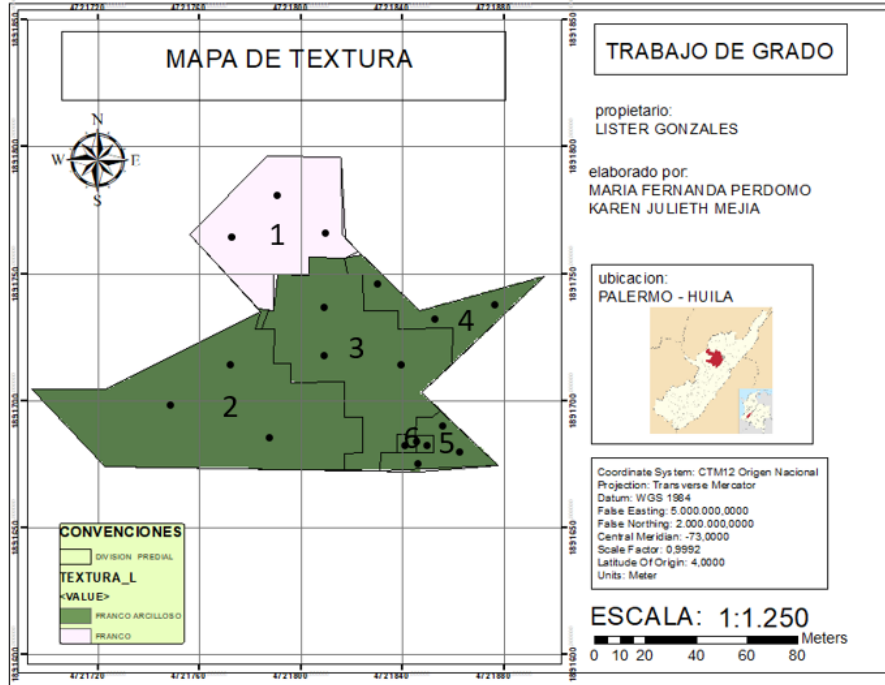


FIGURA 16. Mapa de clasificación textural del suelo predio 1

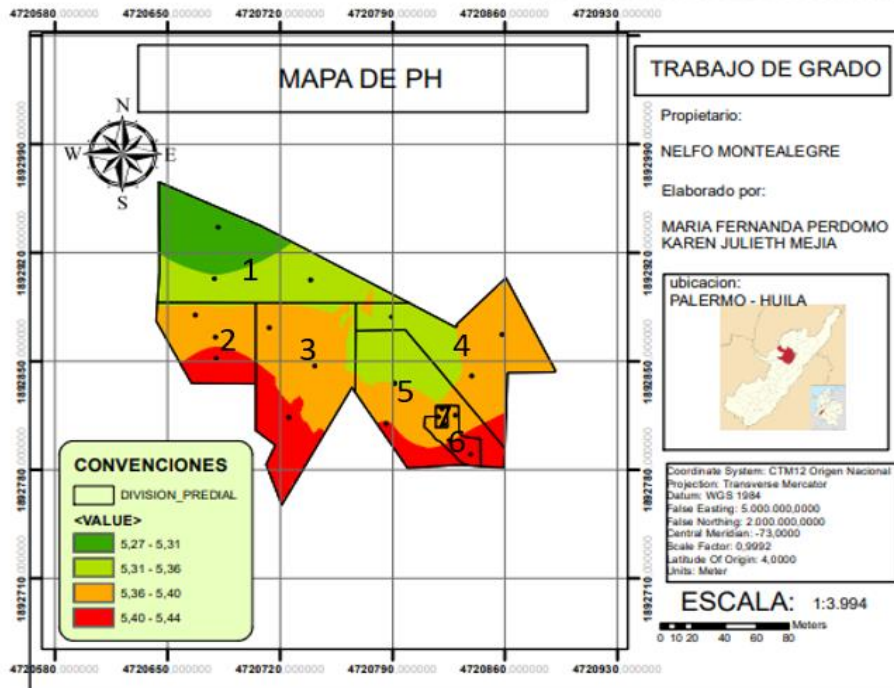


FIGURA 17. Mapa pH predio 2

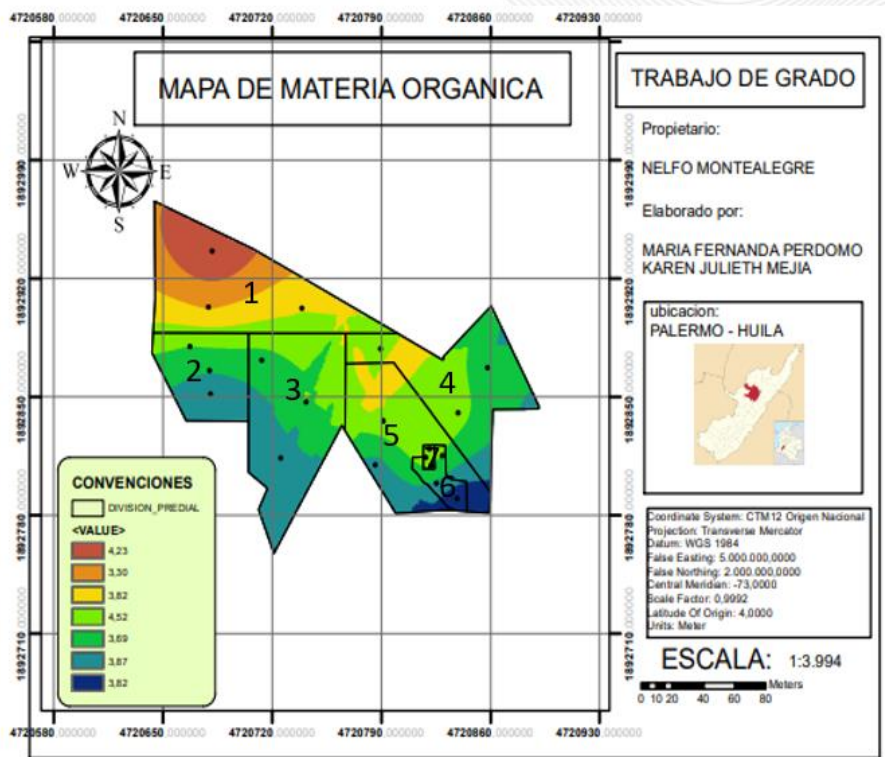


FIGURA 18. Mapa de contenido de materia orgánica del suelo predio 2

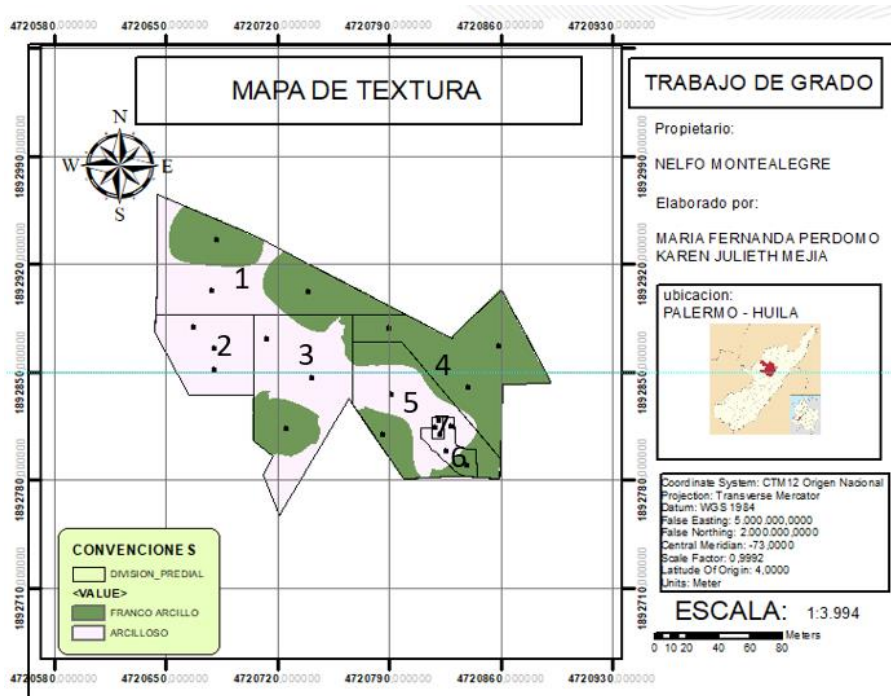


FIGURA 19. Mapa de clasificación textural del suelo predio 2

3.5 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de correlación de Pearson para determinar la relación estadística entre algunos de los parámetros químicos y se obtuvieron los coeficientes presentados en la tabla 26, se encontró que los parámetros CO y MO en ambos predios presentan una relación lineal perfecta con un coeficiente de correlación $R^2 = 1$, lo cual muestra que ambos tienden a aumentar o disminuir de la misma forma.

Igualmente, la variable MO correlacionada con CE Y pH presenta una correlación lineal negativa, indicando que se asocian en sentido inverso, de esta manera cuando la MO tiende a aumentar, la CE Y PH tienden a disminuir, esto debido a que la materia orgánica aumenta la porosidad (Soriano, 2020), los suelos que tienen buena porosidad facilitan la infiltración el flujo de agua y el lavado de sales (Jimenez y Garcia 2019); por lo anterior a mayor contenido de materia orgánica menor conductividad eléctrica. Por otro lado, la variable CE con CIC y pH presentaron una correlación lineal positiva indicando que a menor CE menor CIC y pH.

Así mismo, se realizó análisis de correlación para las variables físicas como DA, DR y porosidad tal como se muestra en la tabla 27, se encontró que DR y DA en ambos predios presentaron una correlación lineal positiva, y la correlación de porosidad con DR Y DA una correlación lineal negativa, lo cual indica que entre más espacio poroso tenga el suelo menor es el valor de la densidad real y densidad aparente.

TABLA 26. Coeficientes de correlación para algunas de las variables químicas de los dos predios evaluados

Correlación de Pearson parámetros químicos					
Variable	Predio	% CO	CE (ds/m)	CIC (meq/100 g)	pH
%MO	Predio 1	1	-0,37	0,39	-0,37
	Predio 2	1	-0,53	0,44	-0,47
CE(ds/m)	Predio 1			0,64	0,44
	Predio 2			0,02	0,33
CIC (meq/100 g)	Predio 1				-0,8
	Predio 2				-0,15

TABLA 27. Coeficientes de correlación para las variables físicas de los predios evaluados

Correlación de Pearson parámetros físicos			
Variable	Predio	DA (g/cm³)	Porosidad
DR (g/cm³)	Predio 1	0,68	-0,32
	Predio 2	0,21	-0,19
DA (g/cm³)	Predio 1		-0,91
	Predio 2		-0,99

3.6 Determinación de aptitud agrícola del suelo

De acuerdo a los resultados físico químicos de los análisis de suelos y a los parámetros evaluados por la metodología SAAT planteada por la FAO (1976) se evaluaron los parámetros mostrados en la tablas 28 a 41.

TABLA 28. Capacidad de fertilidad predio 1

Capacidad de fertilidad						
Sector	% C.O	pH	CIC (meq/100 g)	Grado	Interpretación	Coeficiente
1	2	4	10	5,33	Moderada	0,8
2	2	4	10	5,33	Moderada	0,8
3	2	4	10	5,33	Moderada	0,8
4	2	4	10	5,33	Moderada	0,8
5	2	4	10	5,33	Moderada	0,8
6	2	4	10	5,33	Moderada	0,8

TABLA 29. Capacidad de fertilidad predio 2

Capacidad de fertilidad						
Sector	% C.O	pH	CIC (meq/100 g)	Grado	Interpretación	Coeficiente
1	2	8	6	5,33	Moderada	0,8
2	2	4	6	4,00	Baja	1
3	2	4	6	4,00	Baja	1
4	2	4	8	4,67	Baja	1
5	2	8	8	6,00	Moderada	0,8
6	2	4	8	4,67	Baja	1
7	2	4	6	4,00	Baja	1

El grado de fertilidad para el predio 1 es moderada, mientras que el predio 2, para 5 de los 7 sectores evaluados el grado de fertilidad es bajo, esto se debe a, que para determinar la capacidad de fertilidad de los predios se tienen en cuenta tres variables, carbono orgánico (CO) , pH, y capacidad de intercambio catiónico (CIC) , estas variables influyen notablemente en el resultado obtenido, según (Guevara 2017), la capacidad de intercambio catiónico es determinante para el adecuado desarrollo de cualquier planta, en la tabla 29 se evidencia para el predio 2 una CIC inferior en comparación al predio 1, por lo tanto sectores que presentaron valores bajos de CIC dieron como resultado capacidad de fertilidad baja, se corrobora la estrecha relación entre lo mencionado anteriormente. El predio 1 tuvo como resultado una interpretación moderada, por su alta CIC como se muestra en la tabla 28.

TABLA 30. Resistencia a la erosión predio 1

Resistencia la erosión				
Sector	Pendiente %	Grado	Interpretación	Coefficiente
1	20-45	3	Baja	1
2	20-45	3	Baja	1
3	8-20	2	Media	0,75
4	20_45	3	Baja	1
5	8-20	2	Media	0,75
6	0-3	1	Alto	0,5

TABLA 31. Resistencia a la erosión predio 2

Resistencia a la erosión				
Sector	Pendiente %	Grado	Interpretación	Coefficiente
1	20-45	3	Baja	1
2	8-20	2	Media	0,75
3	20-45	3	Baja	1
4	20-45	3	Baja	1
5	0-3	1	Alta	0,5
6	8-20	2	Media	0,75
7	3-8	2	Media	0,75

Se obtuvo tres grados de interpretación de resistencia a la erosión, bajo, medio y alto, influyendo el grado de pendiente, teniendo baja resistencia en pendiente de 20 a 45 % y mayor resistencia en pendiente baja de 0-3%. Alcántara (2010) indica que a mayor intensidad de pendiente, es mayor la velocidad que toma el agua al escurrir y por esto se hace mayor la erosión del suelo.

TABLA 32. Implementos agrícolas predio 1

Implementos agrícolas				
Sector	Pendiente %	Grado	Interpretación	Coefficiente
1	20-45	5	Bajo	0,2
2	20-45	5	Bajo	0,2
3	8-20	4	Moderada bajo	1
4	20-45	5	Bajo	0,2
5	8-20	4	Moderada baja	1
6	0-3	1	Muy alta	0,3

TABLA 33. Implementos agrícolas predio 2

Implementos agrícolas				
Sector	Pendiente %	Grado	Interpretación	Coefficiente
1	20-45	5	Bajo	0,2
2	8-20	4	Moderada bajo	1
3	20-45	5	Bajo	0,2
4	20-45	5	Bajo	0,2
5	0-3	1	Muy alta	0,3
6	8-20	4	Moderada bajo	1
7	3-8	2	Alto	0,3

A mayor grado de pendiente se dificulta la utilización de implementos agrícolas, además que las utilizaciones de implementos mecánicos pueden ocasionar mayor degradación en el suelo, tal como lo menciona Macias y Calvo de Anta, (1981) citado por (Calvo et al; 1987) el 25% es el valor límite de la pendiente para uso de maquinaria agrícola, por lo tanto se evidencia en las tablas (32 y 33) , que los predios presentan en su mayoría pendientes con grado de inclinación alta entre 20% y 45%, lo cual representa limitaciones para el uso de implementos agrícolas.

TABLA 34. Disponibilidad de oxígeno predio 1

Disponibilidad de oxígeno				
Sector	Textura	Color	Condición de drenaje	Coefficiente
1	F	Dark brown	Moderadamente drenado	1
2	FAr	Light yellowish brown	Imperfectamente drenado	0,5
3	FAr	Pale olive	Imperfectamente drenado	0,5
4	FAr	Light yellowish brown	Imperfectamente drenado	0,5

5	FAr	Brownish yellow	Imperfectamente drenado	0,5
6	FAr	Red dish gray	Imperfectamente drenado	0,5

TABLA 35. Disponibilidad de oxígeno predio 2

Disponibilidad de oxígeno				
Sector	Textura	Color	Condición de drenaje	Coefficiente
1	FAr	Light olive brown	Imperfectamente drenado	0,5
2	Ar	Light olive brown	Imperfectamente drenado	0,5
3	Ar	Light olive brown	Imperfectamente drenado	0,5
4	FAr	Brownish yellow	Imperfectamente drenado	0,5
5	FAr	Light yellowish brown	Imperfectamente drenado	0,5
6	Ar	Pale brown	Pobrementemente drenado	0,25
7	Ar	Brownish yellow	Pobrementemente drenado	0,25

Ambos predios presentan valores de pobrementemente, imperfectamente y moderadamente drenado, esto dependiendo de su condición de drenaje que a su vez depende de factores como textura y color del suelo, teniendo en cuenta que el drenaje es más rápido en suelos de textura arenosa que en suelos de textura arcillosa (Zotarelli, et al; 2013), se tiene que en suelos de textura franca su condición de drenaje es moderada y en textura arcillosa pobrementemente drenado.

TABLA 36. Disponibilidad de materia orgánica predio 1

Disponibilidad de materia orgánica			
Sector	%MO	Interpretación	Coefficiente
1	3,74	Bajo	0,4
2	3,70	Bajo	0,4
3	4,03	Bajo	0,4
4	3,19	Bajo	0,4
5	3,39	Bajo	0,4
6	3,56	Bajo	0,4

TABLA 37. Disponibilidad de materia orgánica predio 2

Disponibilidad de materia orgánica			
Sector	%MO	Interpretación	Coefficiente
1	4,23	Bajo	0,4
2	3,30	Bajo	0,4
3	3,82	Bajo	0,4
4	4,52	Bajo	0,4

5	3,69	Bajo	0,4
6	3,87	Bajo	0,4
7	3,82	Bajo	0,4

Los valores de materia orgánica arrojaron un grado de disponibilidad bajo, esto es debido a que en ambos predios predomina textura franco arcillosa y arcillosa y de acuerdo con (Hassink et al. 1997) las fracciones de arcilla y limo en suelos arenosos se encuentran más libres, mientras que en suelos arcillosos forman densos paquetes de agregados. Por lo tanto, la superficie específica disponible para retener MO es muy superior en suelos arenosos que en suelos arcillosos.

TABLA 38. Condición de drenaje predio 1

Condición de drenaje		
Sector	Interpretación	Coficiente
1	Moderadamente drenado	0,6
2	Imperfectamente drenado	0,8
3	Imperfectamente drenado	0,8
4	Imperfectamente drenado	0,8
5	Imperfectamente drenado	0,8
6	Imperfectamente drenado	0,8

TABLA 39. Condición de drenaje predio 2

Condición de drenaje		
Sector	Interpretación	Coficiente
1	Imperfectamente drenado	0,8
2	Imperfectamente drenado	0,8
3	Imperfectamente drenado	0,8
4	Imperfectamente drenado	0,8
5	Imperfectamente drenado	0,8
6	Pobrementemente drenado	0,2
7	Pobrementemente drenado	0,2

TABLA 40. Disponibilidad de agua predio 1

Disponibilidad de agua			
Sector	Textura	Interpretación	Coficiente
1	F	Alta	0,66
2	FAr	Alta	0,66
3	FAr	Alta	0,66

4	FAr	Alta	0,66
5	FAr	Alta	0,66
6	FAr	Alta	0,66

TABLA 41. Disponibilidad de agua predio 2

Disponibilidad de agua			
Sector	Textura	Interpretación	Coefficiente
1	FAr	Alta	0,66
2	Ar	Alta	0,66
3	Ar	Alta	0,66
4	FAr	Alta	0,66
5	FAr	Alta	0,66
6	Ar	Alta	0,66
7	Ar	Alta	0,66

En ambos predios se obtuvo un grado alto de disponibilidad de agua, teniendo en cuenta que la capacidad de un suelo para retener agua disponible depende de la textura del suelo, los suelos arcillosos pueden retener mayor cantidad de agua.

En la tabla 42,43,44,45,46,47,48 y 49 se condensa los resultados obtenidos para determinar la aptitud agrícola de los cultivos evaluados en cada uno de los predios. Obteniendo una clasificación moderadamente apta (A2), para esto se realizó una ponderación de las variables analizadas como fertilidad, resistencia a la erosión, implementos agrícolas, disponibilidad de oxígeno, disponibilidad de materia orgánica, condición de drenaje, y disponibilidad de agua).

TABLA 42. Aptitud café predio 1

Sector	Fertilidad natural (25%)	Disp oxigeno (15%)	Erosión (10%)	Tipo de drenaje (5%)	Disp agua (15%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (25%)	Aptitud café	
1	0,2	0,15	0,1	0,03	0,09	0,01	0,1	0,69	A2
2	0,2	0,07	0,1	0,04	0,09	0,01	0,1	0,62	A2
3	0,2	0,07	0,07	0,04	0,09	0,05	0,1	0,64	A2
4	0,2	0,07	0,1	0,04	0,09	0,01	0,1	0,62	A2
5	0,2	0,07	0,07	0,04	0,09	0,05	0,1	0,64	A2
6	0,2	0,07	0,05	0,04	0,09	0,01	0,1	0,58	A2

TABLA 43. Aptitud maíz predio 1

Sector	Fertilidad natural (20%)	Disp oxígeno (10%)	Erosión (10%)	Tipo de drenaje (10%)	Disp agua (25%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (20%)	Aptitud Maíz	
1	0,16	0,1	0,10	0,06	0,17	0,01	0,08	0,68	A2
2	0,16	0,05	0,10	0,08	0,17	0,01	0,08	0,65	A2
3	0,16	0,05	0,08	0,08	0,17	0,05	0,08	0,66	A2
4	0,16	0,05	0,10	0,08	0,17	0,01	0,08	0,65	A2
5	0,16	0,05	0,08	0,08	0,17	0,05	0,08	0,66	A2
6	0,16	0,05	0,05	0,08	0,17	0,02	0,08	0,60	A2

TABLA 44. Aptitud plátano predio 1

Sector	Fertilidad natural (25%)	Disp oxígeno (10%)	Erosión (15%)	Tipo de drenaje (10%)	Disp agua (10%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (25%)	Aptitud plátano	
1	0,20	0,10	0,15	0,06	0,07	0,01	0,10	0,69	A2
2	0,20	0,05	0,15	0,08	0,07	0,01	0,10	0,66	A2
3	0,20	0,05	0,11	0,08	0,07	0,05	0,10	0,66	A2
4	0,20	0,05	0,15	0,08	0,07	0,01	0,10	0,66	A2
5	0,20	0,05	0,11	0,08	0,07	0,05	0,10	0,66	A2
6	0,20	0,05	0,08	0,08	0,07	0,02	0,10	0,59	A2

TABLA 45. Aptitud yuca predio 1

Sector	Fertilidad natural (20%)	Disp oxígeno (5%)	Erosión (5%)	Tipo de drenaje (15%)	Disp agua (25%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (25%)	Aptitud yuca	
1	0,16	0,05	0,05	0,09	0,17	0,01	0,10	0,63	A2
2	0,16	0,03	0,05	0,12	0,17	0,01	0,10	0,63	A2
3	0,16	0,03	0,04	0,12	0,17	0,05	0,10	0,66	A2
4	0,16	0,03	0,05	0,12	0,17	0,01	0,10	0,63	A2
5	0,16	0,03	0,04	0,12	0,17	0,05	0,10	0,66	A2
6	0,16	0,03	0,03	0,12	0,17	0,02	0,10	0,61	A2

TABLA 46. Aptitud café predio 2

Sector	Fertilidad natural (25%)	Disp oxígeno (15%)	Erosión (10%)	Tipo de drenaje (5%)	Disp agua (15%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (25%)	Aptitud café	
1	0,2	0,08	0,1	0,04	0,1	0,01	0,1	0,62	A2
2	0,25	0,08	0,08	0,04	0,1	0,05	0,1	0,69	A2
3	0,25	0,08	0,1	0,04	0,1	0,01	0,1	0,67	A2
4	0,25	0,08	0,1	0,04	0,1	0,01	0,1	0,67	A2
5	0,2	0,08	0,05	0,04	0,1	0,02	0,1	0,58	A2
6	0,25	0,04	0,08	0,01	0,1	0,05	0,1	0,62	A2
7	0,25	0,04	0,08	0,01	0,1	0,02	0,1	0,59	A2

TABLA 47. Aptitud maíz predio 2

Sector	Fertilidad natural (20%)	Disp oxígeno (10%)	Erosión (10%)	Tipo de drenaje (10%)	Disp agua (25%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (20%)	Aptitud Maíz	
1	0,16	0,05	0,10	0,08	0,17	0,01	0,08	0,65	A2
2	0,20	0,05	0,08	0,08	0,17	0,05	0,08	0,70	A2
3	0,20	0,05	0,10	0,08	0,17	0,01	0,08	0,69	A2
4	0,20	0,05	0,10	0,08	0,17	0,01	0,08	0,69	A2
5	0,16	0,05	0,05	0,08	0,17	0,02	0,08	0,60	A2
6	0,20	0,03	0,08	0,02	0,17	0,05	0,08	0,62	A2
7	0,20	0,03	0,08	0,02	0,17	0,02	0,08	0,58	A2

TABLA 48. Aptitud plátano predio 2

Sector	Fertilidad natural (25%)	Disp oxígeno (10%)	Erosión (15%)	Tipo de drenaje (10%)	Disp agua (10%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (25%)	Aptitud plátano	
1	0,20	0,05	0,15	0,08	0,07	0,01	0,10	0,66	A2
2	0,25	0,05	0,11	0,08	0,07	0,05	0,10	0,71	A2
3	0,25	0,05	0,15	0,08	0,07	0,01	0,10	0,71	A2
4	0,25	0,05	0,15	0,08	0,07	0,01	0,10	0,71	A2
5	0,20	0,05	0,08	0,08	0,07	0,02	0,10	0,59	A2
6	0,25	0,03	0,11	0,02	0,07	0,05	0,10	0,62	A2
7	0,25	0,03	0,11	0,02	0,07	0,02	0,10	0,59	A2

TABLA 49. Aptitud yuca predio 2

Sector	Fertilidad natural (20%)	Disp oxigeno (5%)	Erosión (5%)	Tipo drenaje de (15%)	Disp agua (25%)	Implementos agrícolas (5%)	Disp de MO (25%)	Aptitud yuca	
1	0,16	0,03	0,05	0,12	0,17	0,01	0,10	0,63	A2
2	0,20	0,03	0,04	0,12	0,17	0,05	0,10	0,70	A2
3	0,20	0,03	0,05	0,12	0,17	0,01	0,10	0,67	A2
4	0,20	0,03	0,05	0,12	0,17	0,01	0,10	0,67	A2
5	0,16	0,03	0,03	0,12	0,17	0,02	0,10	0,61	A2
6	0,20	0,01	0,04	0,03	0,17	0,05	0,10	0,60	A2
7	0,20	0,01	0,04	0,03	0,17	0,02	0,10	0,56	A2

3.7 Análisis espacial mediante herramienta (SIG) de la Aptitud de Suelos

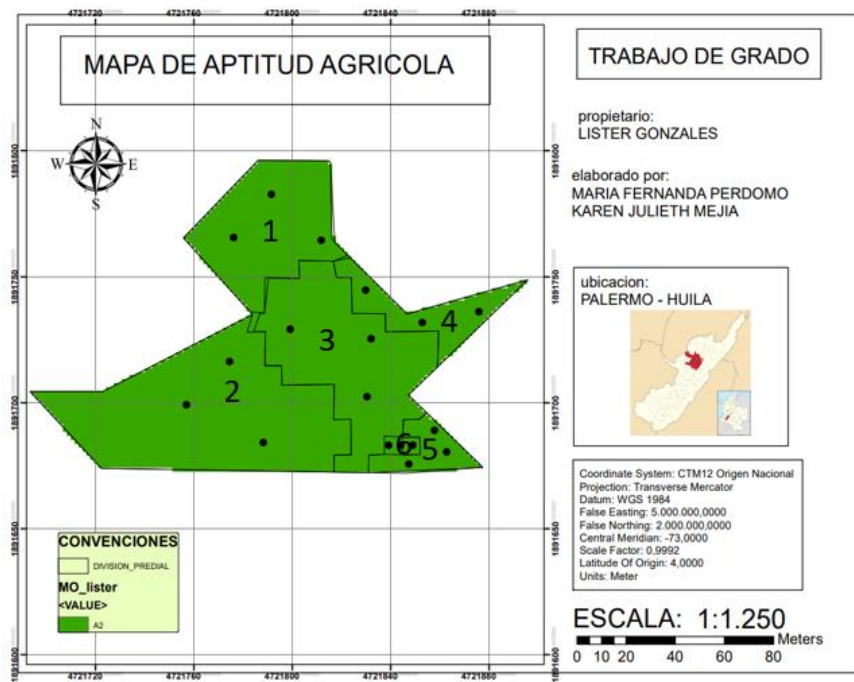


FIGURA 20. Mapa de aptitud de suelos para el predio 1

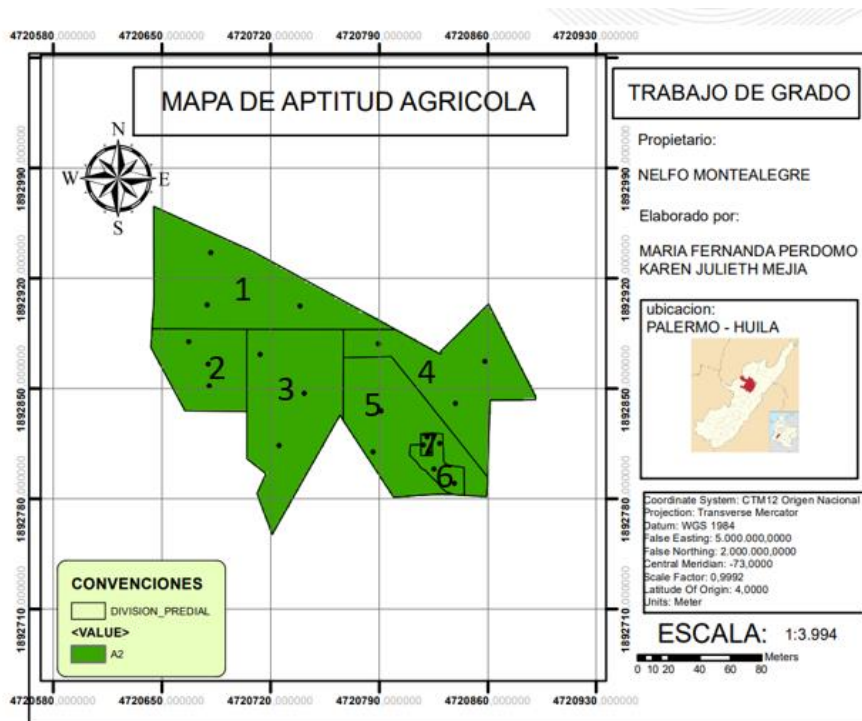


FIGURA 21. Mapa de aptitud de suelos para el predio 2

De acuerdo a los mapas generados de aptitud agrícola para los predios estudiados, se obtiene como resultado que para los cultivos presentes en la zona, plátano, yuca, café y maíz, la aptitud del suelo es moderadamente apta correspondiente a la clasificación (A2), esto nos indica que el suelo presenta limitaciones moderadamente graves para el uso determinado, dado que según (FAO 1976), la aptitud clase A2 indica una limitante mayor o más de dos limitantes menores, para el estudio en mención se encontró que la mayor limitante encontrada fue el pH del suelo para ambos predios, y esto incide en el resultado de variables como CIC , CO, que a su vez afectan el estado óptimo de ese suelo, esto puede afectar la productividad de los cultivos y generar un aumento en el uso de agroquímicos para mejorar las condiciones del suelo. Otra condición desfavorable que se evidencio en el estudio fue su alto grado de inclinación, puesto que la pendiente para ambos predios en su mayor porcentaje representa pendientes de (20%-45%) clasificada como pendiente alta, y esto afecta el uso de implementos agrícolas y resistencia a la erosión, debido a que una pendiente muy alta ocasiona mayor inestabilidad en el terreno. De acuerdo con el estudio realizado evaluación de tierras para el departamento del Huila, condiciones de transformación y uso del territorio rural, clasifica la aptitud media A2 como zonas dedicadas a usos agrícolas o pecuarios, que aún conservan algunos espacios naturales. Se incluyen los cultivos transitorios, cultivos confinados y los mosaicos de cultivos. Si bien, una aptitud moderadamente apta A2 no representa limitaciones graves, si se deben emplear diferentes acciones para poder mejorar el uso del suelo de tal forma que se aumente la productividad y el uso a largo plazo sea sostenible, sin representar un deterioro o degradación del suelo por implementar labores agrícolas deficientes.

4. CONCLUSIONES

Los predios de los productores de la vereda El Vergel, vinculados a la Asociación de Trabajadores Campesinos del Huila (ATCH), cuentan con un suelo clasificado como A2, lo que se considera Moderadamente Apto para los cultivos de café, plátano, yuca y maíz. Esta clasificación implica ciertas limitaciones en el desarrollo de la producción agrícola. Por tanto, resulta necesario implementar enmiendas o utilizar productos como abonos orgánicos para mejorar la calidad del suelo y, de esta manera, aumentar su capacidad de producción y sostenibilidad.

Se realizó una caracterización de la zona de estudio, identificando cuatro rangos de pendientes: baja (0-3%), media (3-8%), alta (8-20%) y muy alta (20-45%). Se observó un predominio de pendientes muy altas y altas en ambos predios, lo que conlleva a una mayor susceptibilidad a la erosión y limitaciones en el uso de implementos agrícolas.

En ambos predios, la disponibilidad de agua es la variable evaluada que muestra resultados favorables en cuanto a la idoneidad del suelo. Sin embargo, para las demás variables, los resultados son clasificados como medios a bajos, con limitaciones significativas en la disponibilidad de materia orgánica y en la capacidad de fertilidad, siendo esta más pronunciadas en el predio 2.

Los resultados obtenidos en el desarrollo del estudio serán un valioso aporte para la toma de decisiones sobre el uso y manejo de los cultivos presentes en los predios evaluados. Esto permitirá emplear diferentes alternativas que contribuyan al mejoramiento de las prácticas agrícolas utilizadas y, a su vez, generar mayores beneficios económicos, ya que los usuarios se benefician principalmente de las actividades agrícolas que se desarrollan en la región. Además, los mapas de propiedades del suelo proporcionarán una visión clara y comprensible de las características del suelo en diferentes áreas de los predios, lo que les ayudará a implementar prácticas de cultivo más eficientes, maximizando así la productividad de sus tierras. Estos hallazgos serán una herramienta valiosa para mejorar la gestión y la toma de decisiones relacionadas con la agricultura en la zona de estudio.

5. RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos del estudio realizado, el suelo de los predios se pudo caracterizar como un suelo ácido y fuertemente ácido, esto puede resultar una limitante para los cultivos ya que en muchas ocasiones afectar el desarrollo radicular de la planta, por tanto es recomendable hacer uso de enmiendas y correctivos en el suelo (Encalamiento) ya que esta es una práctica utilizada para disminuir la acidez y toxicidad del aluminio, hierro y manganeso, regula la disponibilidad de fósforo, molibdeno y además aumenta la disponibilidad de calcio y magnesio, esto con el fin de evitar un incremento de los insumos agrícolas a futuro, y así mejorar la productividad y desarrollo del cultivo.

Es fundamental recomendar tener en cuenta variables hidroclimáticas y realizar análisis de suelos más detallados, incluyendo la evaluación de macro y micronutrientes. Esta integración de datos permitirá llevar a cabo una precisa zonificación agroecológica y evaluar todas las variables establecidas en la metodología SAAT. Al combinar esta información, se obtendrán resultados más confiables y precisos, lo que contribuirá a una mejor toma de decisiones y a la implementación de prácticas agrícolas más efectivas y sostenibles en la región.

Usar abonos orgánicos para poder mejorar las condiciones del suelo y su fertilidad, ya que este parámetro influye en gran medida en el rendimiento óptimo de los cultivos. Aprovechar los residuos de cosecha del café para obtener compost como fertilizante orgánico, esto con el fin de disminuir el gasto de fertilizantes químicos y mejorar la aireación y capacidad de retención de humedad y conservación de organismos biológicos del suelo.

Implementar cultivos de cobertura como maíz, cebada y avena, ya que estos poseen raíces profundas y fuertes que ayudan a proteger el suelo de la erosión y movimientos en masa, que se puedan generar debido a las altas pendientes, además puede generar beneficios económicos al comercializar estos cultivos de cobertura.

6. REFERENCIAS

- Alcantara-Bonon, German H. Pendiente de los suelos del departamento de Cajamarca. 2010-2011, p.8
- Benton, J. J. Agronomic Handbook: Management of Crops, Soils, and their Fertility, CRC Press, New York. 2003.
- Calvo-Flores G, D; Sánchez-Marañón M, Calvo-Flores, R. Metodología para la evaluación de la aptitud de los suelos del sector Noroccidental de Sierra Nevada (Granada) para usos agronómicos (agrícolas, forestales y ganaderos. *Ecología*, n.1, 1987, p. 5-25.
- Corwin, Dennis L., Loague, Keith.; Ellsworth, Timothy R. Introduction: Assessing non-point source pollution in the vadose zone with advanced information technologies. 1999.
- Cremona, María V; Enríquez, Andrea S. Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento son el pH y la conductividad eléctrica. n.73 ,2020.
- Edward, J. P. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 405 p. 2000
- Equipo Técnico POPSPR. Identificación de zonas aptas escala 1:100.000 para las alternativas productivas: Cacao, Maíz Tecnificado Amarillo de Clima Cálido, Tilapia, Cachama, Trucha, Especies Nativas Acuícolas y Ganadería bovina para la producción de leche y crías en pastoreo para el mercado nacional. Secretaría de Agricultura y Minería Departamento del Huila, 2020. P,48.
- Eyherabide, Mercedes; Saíenz-Rozas, Hernán; Barbieri, Pablo; Echeverría, Hernán E. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*. v,32. n,1. 2014.
- Flores-Mancilla, Wily M. Determinación de aptitud de suelo para el cultivo de café (coffea arábica) en los sectores de Pongo Pampa y Agrotakesi del municipio Yanacachi provincia Sud Yungas departamento de la Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, v. 4, n.1, 2017, p. 40-52.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). A framework for land evaluation. *Soils Bulletin No.32*, Rome. 1976.
- Garrido-Atencia, Jarif. J.; Licona-Polo, Maria, Marcela. Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas del distrito de riego del municipio de repelón, atlántico. [Tesis Ingeniería Ambiental]. Barranquilla (Colombia); Universidad de la Costa (CUC), Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, 2017, p. 19.


- González-González, Humberto. A.; Hernández Santana, José R. Zonificación agroecológica del Coffea arábica en el municipio de Álvarez, Guerrero, México. Investigaciones geográficas boletín del instituto de geografía, n.90, 2016, p. 105-118. <https://doi.org/10.14350/rig.49329>
- Gros, A; Domínguez, A. Abonos guía práctica de la fertilización. 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.1992, p .450.
- Guevara- Pescador, Julian A. Fundamentos para el estudio, identificación y determinación metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en el departamento del Valle del Cauca. [Tesis Química]. Palmira, Colombia; Universidad Nacional abierta y a distancia Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería , 2017, p 37.
- Gutiérrez, Nathalia; Restrepo, Francisco. Evaluación de correctivos de acidez en un andisol cultivado con aguacate “HASS”. Suelos Ecuatoriales. v. 49, n.1, 2019. [https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p38-44_103](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p38-44_103)
- Hassink, Jan. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. Plant and Soil, 191, 77–87 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1004213929699>
- Instituto Geografico Agustin Codazzi (IGAC). Recomendaciones para la toma de muestra para analisis del laboratorio Nacional de suelos. 2017.
- Jimenez, Esteban; Garcia, Julio. Estrés por salinidad. Metroflor, 2019.
- Julca- Otiniano, Alberto; Meneses-Florián, Liliana; Blas-Sevillano, Raúl; Bello-Amez, Segundo. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Idesia, v.24, n.1, 2006. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kissel, David E; Sonon, Leticia. Soil Test Handbook for Georgia. 2008.
- Klein, V. A.; Libardi, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 4, 2002, p. 857-867. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>
- Klein, V.A.; Libardi, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo v.26, n. 4, 2002, p.857-867. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>
- Krull, E.S., Skjemstad, J.O; Baldock, J.A. Functions of Soil Organic Matter and the Effect on Soil Properties. Grains Research & Development Corporation Report Project No. CSO 00029. (2004).

- Lacasta, C., Meco, R; Maire, N. Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en un agrosistema de cereales sometido a diferentes manejos de suelo durante 21 años. El reto de la Agricultura y Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común. Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación, 2005. 429-436.
- Martínez H, Eduardo; Fuentes E, Juan P; Acevedo H, Edmundo. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, v. 8, n.1, 2008.<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Moro, A. (2015). Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. AQM Laboratorios. Obtenido de <http://aqmlaboratorios.com/author/alberto-moro>.
- Muñoz- Arboleda, Fernando. Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. 2016.
- Olson, K. R. Characterization of pore size distributions within soils by mercury intrusion and water - release methods. Soil Sci, v. 139, n. 5, 1985, p. 400 - 404.
- Prasad, R. and Power, J.F. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Lewis Publishers in an Imprint of CRC Press, 243. (1997)
- Ramalho-Filho, A; Beek, K. J. Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola Das Terras. (3ª ed.). Rio de Janeiro. MAARA/EMBRAPA/CNPS. 1995.
- Resolución No. 471 (Especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de la cartográfica básica oficial de Colombia). IGAC del 2020.
- Rodriguez-Alarcon, Christian A. Determinación de aptitud de suelos mediante diferentes herramientas SIG para pequeños agricultores en el sector Sequiel De Abajo. [Tesis Ingeniería Agrícola]. Guayaquil (Ecuador); Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, 2020, p. 23.
- Rosas-Ribeiro, Mateus. Metodologías De Avaliação Da Aptidão Agrícola Das Terras E As Variáveis Regionais. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, v. 4, 2007, p.116-125.
- Salamanca-Jimenez, Alveiro y Sadeghian- Khalajabadi, Siavosh. Ladensidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafe 56(4), p. 381-397. 2005

- Salvatore, Mirella; Kassam, Amir; Gutiérrez, Ana. C.; Bloise, Mario; Marinelli, Michela. Metodología de evaluación de aptitud de tierras. FAO, p. 11.
- Sonon L. S. , Kissel D. E. , and Saha U. (2022). Cation exchange capacity and base saturation. University of Georgia in cooperation with Fort Valley State University, the U.S. Department of Agriculture, and counties of the state.
- Soriano-Soto, Maria D. Efectos de la materia orgánica sobre el suelo. Universitat Politècnica de València. 2020.
- United States Department Of Agriculture (USDA). Examination and Description of Soil Profiles. 2017. p.125
- Valencia, A. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, cenicafé-agroinsumos del café, 1999, p.94.
- Vallejo-Quintero, Victoria. E. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia forestal, V. 16, n. 1, 2013. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06>
- Vieira-Vasconcelos, Vitor; Pereira-Martins-Junior, Paulo. Ciência da informação e aptidão agrícola: Abordagens interescales para planejamento de uso da terra. INTERThesis, v. 12, n. 2, 2015. <http://dx.doi.org/10.5007/1807-1384.2015v12n2p221>
- Villarreal, Jose E. Mapas de fertilidad como herramienta para la zonificación de suelos en Panamá. Informaciones agronómicas de hispanoamérica, 2018, p. 32-39.
- White, R.E. Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource. Cuarta edición. Oxford: Blackwell. 2005. 384 p.
- Zotarelli, Lincoln; D. Dukes, Michael y T. Morgan, Kelly. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. 2013. <https://doi.org/10.32473/edis-ae496-2013>


7. ANEXOS

ANEXO 1. Encuesta realizada predio 1.

Encuesta predio 1			
		EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL SUELO PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LAS FINCAS ASOCIADAS DE LA VEREDA EL VERGEL DEL MUNICIPIO DE PALERMO A LA ASOCIACIÓN DE TRABAJADORES CAMPESINOS DEL HULLA (ATCH)	
Fecha	24 de octubre 2022		
1. Tenencia de la tierra			
Nombre y apellido del productor	Ester Gaitales		
Nombre del predio	El Mirador		
Área total del predio en (ha)	1,3 hectáreas		
Altura del predio m.s.n.m	1702 m.s.n.m		
Nº años como propietario del predio	20 años		
2. Cultivos establecidos en el predio			
Producto	Marque con una x el producto	Área total del cultivo	Distancia de siembra (m)
Café	X		1,30 x 1,30
Plátano	X		4 x 5
Banano			
Maíz			laboratorio
Yuca	X		
Otro ¿cuál?			
3. Uso del suelo			
Actividad	Marque con una x la actividad	Área total (ha)	
Ganadería			
Agrícola	X	1,1	
Reserva	X	0,2	
4. Sistemas de producción			
Café	Tradicional	Tecnificado	Semisombra Sombra
	X		
Ganadería	Extensiva	Intensiva	Autoconsumo
5. Fertilización			
Tipo fertilizante	Abono Granulado (Químico)		
6. Selección del terreno para siembra			
Frecuencia	cada 4 meses		
Dosis	120 gr por árbol		
Fecha última fertilización	mayo de 2022		
7. Realiza alguna de las siguientes prácticas de cultivo			
Práctica	Marque con una x	periodo	Fecha de última realización
Análisis de suelo	X	octubre	
Análisis de agua			
control de enfermedades	X		
control de plagas	X		
Control de Plagas Realizado			
Prepara y utiliza abonos orgánicos			
Encalamiento	X	cada 2 años	
Incorporación de residuos de cosecha	X	octubre	Junio 2022
8. Riego			
Periodo			
Tipo de sistema			

ANEXO 2. Encuesta realizada predio 2.

Encuesta predio 2

		EVALUACIÓN DE LA APTITUD DEL SUELO PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LAS FINCAS ASOCIADAS DE LA VEREDA EL VERGEL DEL MUNICIPIO DE PALERMO A LA ASOCIACIÓN DE TRABAJADORES CAMPESINOS DEL HUILA (ATCH)	
Fecha	24 de octubre 2022		
1. Tenencia de la tierra			
Nombre y apellido del productor	Nairo Montealegre		
Nombre del predio	El Bosque		
Área total del predio en (ha)	4,0 - 7,0 hectáreas		
Altura del predio m.s.n.m	1957 M.S.N.M		
Nº años como propietario del predio	12 años		
2. Cultivos establecidos en el predio			
Producto	Marque con una x el producto	Área total del cultivo	Distancia de siembra (m)
Café	X		110 - 110
Plátano	X		3m x 3m
Banano			
Maíz	X		0,5m x 0,5m
Yuca	X		de 40cm
Otro ¿cuál?	caña		1m x 1m
3. Uso del suelo			
Actividad	Marque con una x la actividad	Área total (ha)	
Ganadería			
Agrícola	X		
Reserva	X		
4. Sistemas de producción			
Café	Tradicional	Tecnificado	Semisombra Sombra
	X		
Ganadería	Extensiva	Intensiva	Autoconsumo
5. Fertilización			
Tipo fertilizante	Foliar orgánico-mineral (Biectol)		

Frecuencia	cada 4 meses		
Dosis	80cm ³ y Biotol de 20 litros		
Fecha última fertilización	octubre 2022		
6. Selección del terreno para siembra			
Variante	Marque con una X		
Topografía			
Fertilidad			
Otro ¿Cuál?	Se escogió el terreno por el clima		
7. Realiza alguna de las siguientes prácticas de cultivo			
Práctica	Marque con una X	periodo	Fecha de última realización
Análisis de suelo	X		hace 4 años.
Análisis de agua			
control de enfermedades	X		
control de plagas	X		
Control de Plagas Realizado			Realiza control de plagas químico (Biotol 500)
Prepara y utiliza abonos orgánicos			
Enclavamiento	X	1 año	hace 1 año
Incorporación de residuos de cosecha	X	1 año	JUNIO 2022
8. Riego			
Periodo			
Tipo de sistema			