
	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSION	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 27 de septiembre 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Damaris Perdomo Medina, con C.C. No. 1.079508167,

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

Titulado **“Evaluación de la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), sabana y zona de bosque natural”**.

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental.

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.

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.

DAMARIS PERDOMO MEDINA

Firma: Damaris Perdomo M.

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.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación de la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), Sabana y zona de Bosque Natural.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Perdomo Medina	Damaris

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torrente Trujillo	Armando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Posgrado

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 80 páginas

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_X_ Música impresa___ Planos_X_ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros_X_

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.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

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

MATERIAL ANEXO: NA

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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Cobertura vegetal</u>	<u>plant cover</u>	6. _____	_____
2. <u>caracterización del suelo</u>	<u>soil characterization</u>	7. _____	_____
3. <u>propiedades del suelo</u>	<u>soil properties</u>	8. _____	_____
4. <u>conservación del suelo</u>	<u>soil conservation</u>	9. _____	_____
5. <u>uso del suelo</u>	<u>soil use</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El objetivo es evaluar la calidad del recurso suelo bajo tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), Sabana y zona de bosque natural. La metodología comprende la selección de tres áreas con diferentes coberturas vegetales; la identificación y caracterización representativa de los suelos para el análisis de las propiedades físicas (textura, estructura, densidad aparente y retención de humedad), químicas (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, calcio, magnesio, sodio, potasio) y biológicas (actividad orgánica, relación C/N y materia orgánica). La caracterización incluye la identificación e interpretación de los perfiles de suelo y los procesos pedogenéticos en el edafosistema de las tres coberturas, la variabilidad espacial del suelo de las variables retención de humedad, conductividad eléctrica, profundidad efectiva y resistencia a la penetración. Los indicadores fueron normalizados utilizando una escala 0-1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Se aplicó análisis geoestadístico no paramétrico y análisis de componentes principales. Se diseñaron estrategias de manejo para mitigar la degradación que servirá de base para la conservación del suelo y el desarrollo agropecuario de la región. Se concluye que las propiedades mencionadas son afectadas por los cambios en el uso del suelo, siendo las



propiedades físicas y biológicas más sensibles a las alteraciones y prácticas culturales, mientras que las propiedades químicas son más fáciles de remediar y recuperar. Se identificaron problemas de compactación y deficiente drenaje en la zona de sabana, y se verifica que los suelos son ácidos con altos contenidos de aluminio, situación a corregir con enmiendas para mejorar la asimilación de los nutrientes por las plantas. El indicador de la calidad del suelo (ICS) para la cobertura del bosque es de 0,61 que pertenece a la clase 2 considerada como alta calidad, y las coberturas sabana y eucalipto se encuentran en la clase 3 considerada como moderada calidad, esto representa que los usos y manejos que se le den al suelo influyen de forma positiva o negativa para que mejoren o se deteriore la calidad del suelo.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The objective is to evaluate the quality of the soil resource under three plant covering: Eucalyptus (*Eucalyptus Grandis*), Savannah and Natural forest area. The methodology includes the selection of three areas with different plant covering; the identification and representative characterization of soils for the analysis of physical properties (texture, structure, apparent density and moisture retention), chemical (pH, electrical conductivity, organic carbon, calcium, magnesium, sodium, potassium) and biological (organic activity, C/N ratio and organic matter). Characterization includes the identification and interpretation of soil profiles and pedogenetic processes in the edaphosistema of the three coverages. The spatial variability of the soil of the variables moisture retention, electrical conductivity, effective depth and resistance to penetration. The indicators were normalized using a 0-1 scale that represent, respectively, the worst and best condition from the point of view of quality, regardless of the absolute values measured for each indicator. Non – parametric geostatistical analysis and principal component analysis were applied to define the variables of greater weight in the selection of the indicators of the soil. Management strategies were designed to mitigate the degradation that will serve as a basis for soil conservation and the agricultural development in the region. It is concluded that the properties are affected by the changes in the use of the soil, being the physical and biological properties most sensitive to alterations and cultural practices, while chemical properties are easier to remediate and recover. We identified problems of compaction and poor drainage in the savannah area, and it is verified that the soil are acids with high Aluminium content, situation to be corrected with amendments to improve the assimilation of nutrients by plants. The indicator of soil quality (ICS) for forest cover is 0.61 that belongs to class 2 considered as high quality, and savanna



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

and eucalyptus coverages are in class 3 considered as moderate quality, this represents that the uses and management that are given to the soil influence positively or negatively to improve or deteriorate the quality of the soil.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Armando Torrente Trujillo

Firma:

Nombre Jurado: Jennifer Katusca Castro Camacho

Firma:

Jennifer Katusca Castro Camacho

Nombre Jurado: John Jairo Arévalo Hernández

Firma:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO SUELO EN TRES
COBERTURAS VEGETALES: EUCALIPTO (*Eucalyptus Grandis*), SABANA Y
ZONA DE BOSQUE NATURAL**

DAMARIS PERDOMO MEDINA

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
NEIVA, COLOMBIA
2019**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL RECURSO SUELO EN TRES
COBERTURAS VEGETALES: EUCALIPTO (*Eucalyptus Grandis*), SABANA Y
ZONA DE BOSQUE NATURAL.**

DAMARIS PERDOMO MEDINA

**Trabajo de grado, requisito Académico para optar al título de Magíster en
Ingeniería y Gestión Ambiental**

**Director:
PhD. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
Profesor Titular**

**Línea de Investigación:
Manejo de suelos y aguas con fines de producción agrícola**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
NEIVA, COLOMBIA
2019**

Nota de aceptación

Firma del Director
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
I.A. M.Sc. PhD Ciencias Agropecuarias

Firma del Jurado
JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO
I.A. M.Sc. Ingeniería y Gestión Ambiental

Firma del Jurado
JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ
I.A. M.Sc. Ingeniería Agrícola

Neiva, Agosto 2019

DEDICATORIA

Dedico este arduo trabajo a Dios Todopoderoso, por darme la vida para alcanzar mis metas propuestas.

A mi esposo, Néstor Mauricio Arias, por su amor, colaboración y apoyo incondicional en todos nuestros proyectos. Gracias por ser mi compañero de aventura en esta hermosa vida.

A mi hija, Isabella Arias Perdomo, por su amor y por ser la luz de mi vida. Gracias por todo lo que me has enseñado.

A mis padres, Jesús Antonio Perdomo Bonilla y Ofelia Medina Sarrias por su amor, sus valores inculcados en mí, para ser una gran persona y su constante motivación en la ejecución de este trabajo.

Damaris Perdomo Medina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y el entendimiento para realizar este trabajo.

Agradezco a mi esposo Néstor Mauricio Arias, por hacer parte fundamental de este proyecto, por su amor, colaboración, motivación y apoyo incondicional.

Agradezco a mi hija Isabella Arias Perdomo, por su amor, paciencia, y su buen comportamiento para que este proyecto se hiciera realidad.

Agradezco a mis padres Jesús Antonio Perdomo y María Ofelia Medina, por todo el amor y colaboración que me han brindado a lo largo de mi vida.

Agradezco a mis herman@s: Melida, Nayibe y Faiber, por su motivación y ayuda emocional en la realización de este proyecto.

Agradezco al profesor Armando Torrente Trujillo por brindar sus conocimientos, su apoyo y confianza en la ejecución de este proyecto.

Agradezco a Wilmer Arias Peña y Fabián Orlando Arias por su colaboración y ayuda en el trabajo de campo.

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma ayudaron para que este proyecto fuera una realidad, mil gracias, Dios les bendiga y les multiplique.

Mil y mil Gracias

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos	14
1. MARCO REFERENCIAL	15
1.1 Situación actual en el área de investigación.....	17
2. METODOLOGIA.....	21
2.1 Localización de la zona de estudio.....	21
2.2 Caracterización de los suelos de las diferentes coberturas vegetales	22
2.2.1 Georreferenciación de las áreas con diferentes coberturas vegetales	22
2.2.2 Reconocimiento de la zona de estudio	22
2.2.3 Análisis de suelo	22
2.2.3.1 Trabajo de Campo.....	22
2.2.3.2 Trabajo de laboratorio	22
2.2.3.3 Indicadores de calidad del suelo	24
2.3 Variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo <i>in situ</i>	26
2.3.1 Mapas de variabilidad espacial	26
2.4 Geoestadística de la calidad de los suelos	27
2.4.1 Análisis geoestadístico	27
2.5 Estrategias de manejo y sostenibilidad de los suelos	28
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1 Reconocimiento de la zona de estudio	29
3.1.1 Descripción de las zonas seleccionadas.....	29
3.2 Caracterización físico- química y biológica de las coberturas vegetales	30
3.2.1 Propiedades físicas del suelo.....	30
3.2.2 Propiedades Químicas del suelo	33
3.2.3 Propiedades Biológicas del suelo	36
3.2.4 Indicadores de calidad del suelo (ICS).....	37
3.3 Mapas de variabilidad espacial	40
3.3.1 Profundidad Efectiva.....	40

3.3.3 Conductividad Eléctrica	41
3.3.4 Humedad del suelo	41
3.3.5 Resistencia del suelo a la penetración.....	41
3.4 Estadística descriptiva.....	46
3.4.1 Coeficiente de variación (CV).	46
3.4 Estadística no paramétrica.....	46
3.5.1 Análisis de la varianza	46
3.5.1.1 Análisis de la varianza para las propiedades físicas del suelo	47
3.5.2 Matriz de coeficientes de correlación de Spearman.....	57
3.5.4 Análisis Clúster (CA)	62
3.6 Estrategias de manejo y sostenibilidad de los suelos	62
4. CONCLUSIONES.....	64
5. RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFIA	67
ANEXOS.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Calificador para determinar el valor numérico de la textura	26
Tabla 2. Clases de calidad de suelos	26
Tabla 3. Valores promedios de los indicadores de calidad del suelo de las diferentes coberturas vegetales.....	38
Tabla 4. Indicadores de calidad de suelos, valores máximos y mínimos definidos para las diferentes coberturas	39
Tabla 5. Propiedades de los suelos según el coeficiente de variación	46
Tabla 6. Matriz de Correlación Spearman	59
Tabla 7. Análisis de componentes principales	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Finca Buenavista, municipio de Nátaga	21
Figura 2. Actividades agrícolas frecuentes.....	29
Figura 3. Propiedades físicas de los suelos.....	31
Figura 4. Curvas de retención de humedad del suelo en las tres coberturas.....	33
Figura 5. Propiedades químicas de los suelos	34
Figura 6. Propiedades biológicas del suelo.....	36
Figura 7. Variabilidad espacial de la profundidad efectiva del suelo (cm) a) Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana	42
Figura 8. Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica del suelo (dS/m) a) Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana	43
Figura 9. Variabilidad espacial de la humedad del suelo (%) a) Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana.....	44
Figura 10. Variabilidad espacial a la resistencia del suelo a la penetración (Kpa). Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana	45
Figura 11. Media e intervalos de confianza del Test de Bonferroni al 95%, de cada propiedad física del suelo en cada una de las coberturas vegetales.	50
Figura 12. Media e intervalos de confianza del Test de Bonferroni al 95%, de cada propiedad Química del suelo en cada una de las coberturas vegetales.	54
Figura 13. Media e intervalos de confianza del Test de Bonferroni al 95%, de cada propiedad biológica del suelo en cada una de las coberturas vegetales.	56
Figura 14. Representación en el plano obtenida mediante análisis de componentes principales.....	60
Figura 15. Diagrama de dispersión con respecto a los usos del suelo.....	61
Figura 16. Diagrama de análisis clúster.....	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Encuesta antecedentes de la Finca	70
Anexo B. Descripción de los suelos	72
Anexo C. Caracterización física, química y biológica de los suelos.....	76
Anexo D. Estadística descriptiva.....	77
Anexo E. Estadística no paramétrica	80

RESUMEN

El objetivo es evaluar la calidad del recurso suelo bajo tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), Sabana y zona de bosque natural. La metodología comprende la selección de tres áreas con diferentes coberturas vegetales; la identificación y caracterización representativa de los suelos para el análisis de las propiedades físicas (textura, estructura, densidad aparente y retención de humedad), químicas (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, calcio, magnesio, sodio, potasio) y biológicas (actividad orgánica, relación C/N y materia orgánica). La caracterización incluye la identificación e interpretación de los perfiles de suelo y los procesos pedogenéticos en el edafosistema de las tres coberturas, la variabilidad espacial del suelo de las variables retención de humedad, conductividad eléctrica, profundidad efectiva y resistencia a la penetración. Los indicadores fueron normalizados utilizando una escala 0-1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador. Se aplicó análisis geoestadístico no paramétrico y análisis de componentes principales. Se diseñaron estrategias de manejo para mitigar la degradación que servirá de base para la conservación del suelo y el desarrollo agropecuario de la región. Se concluye que las propiedades mencionadas son afectadas por los cambios en el uso del suelo, siendo las propiedades físicas y biológicas más sensibles a las alteraciones y prácticas culturales, mientras que las propiedades químicas son más fáciles de remediar y recuperar. Se identificaron problemas de compactación y deficiente drenaje en la zona de sabana, y se verifica que los suelos son ácidos con altos contenidos de aluminio, situación a corregir con enmiendas para mejorar la asimilación de los nutrientes por las plantas. El indicador de la calidad del suelo (ICS) para la cobertura del bosque es de 0,61 que pertenece a la clase 2 considerada como alta calidad, y las coberturas sabana y eucalipto se encuentran en la clase 3 considerada como moderada calidad, esto representa que los usos y manejos que se le den al suelo influyen de forma positiva o negativa para que mejoren o se deteriore la calidad del suelo.

Palabras claves: Cobertura vegetal, caracterización del suelo, propiedades del suelo, conservación del suelo, uso del suelo.

ABSTRACT

The objective is to evaluate the quality of the soil resource under three plant covering: Eucalyptus (*Eucalyptus Grandis*), Savannah and Natural forest area. The methodology includes the selection of three areas with different plant covering; the identification and representative characterization of soils for the analysis of physical properties (texture, structure, apparent density and moisture retention), chemical (pH, electrical conductivity, organic carbon, calcium, magnesium, sodium, potassium) and biological (organic activity, C/N ratio and organic matter). Characterization includes the identification and interpretation of soil profiles and pedogenetic processes in the edaphosistema of the three coverages. The spatial variability of the soil of the variables moisture retention, electrical conductivity, effective depth and resistance to penetration. The indicators were normalized using a 0-1 scale that represent, respectively, the worst and best condition from the point of view of quality, regardless of the absolute values measured for each indicator. Non-parametric geostatistical analysis and principal component analysis were applied to define the variables of greater weight in the selection of the indicators of the soil. Management strategies were designed to mitigate the degradation that will serve as a basis for soil conservation and the agricultural development in the region. It is concluded that the properties are affected by the changes in the use of the soil, being the physical and biological properties most sensitive to alterations and cultural practices, while chemical properties are easier to remediate and recover. We identified problems of compaction and poor drainage in the savannah area, and it is verified that the soil are acids with high Aluminium content, situation to be corrected with amendments to improve the assimilation of nutrients by plants. The indicator of soil quality (ICS) for forest cover is 0.61 that belongs to class 2 considered as high quality, and savanna and eucalyptus coverages are in class 3 considered as moderate quality, this represents that the uses and management that are given to the soil influence positively or negatively to improve or deteriorate the quality of the soil.

Keywords: plant cover, soil characterization, soil properties, soil conservation, soil use.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural fundamental en el desarrollo agropecuario, es por esto que es necesario identificar y caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas y su interrelación con la cobertura vegetal para observar los efectos bajo diferentes usos, con esta información es posible evaluar la calidad de los suelos y elaborar estrategias a tiempo para evitar la degradación de los mismos.

Las actividades humanas generan impactos de diversa jerarquía y gravedad sobre los recursos naturales; es por esto, importante evaluar la calidad del suelo para determinar el grado de degradación que presenta éste, y de esta manera elaborar estrategias de manejo y conservación de suelos para prevenir problemas que enmarquen la baja productividad de los cultivos.

El contenido presenta la situación actual en el área de estudio, describiendo algunas investigaciones relacionadas sobre la evaluación de la calidad de los suelos; en la metodología se selecciona la zona de estudio y se describen cada una de las coberturas vegetales, además de los procedimientos y materiales utilizados en campo y en laboratorio para la caracterización de suelos, los mapas de variabilidad espacial y el análisis geoestadístico de la información; en el capítulo siguiente se muestran los resultados de los análisis estadísticos, mapas de variabilidad, estrategias de manejo y sostenibilidad de los suelos; y por último, las conclusiones y recomendaciones.

El objetivo general fue evaluar la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), sabana y Bosque natural, para conocer la influencia que tiene la cobertura vegetal en las propiedades del suelo; para esto se hizo la descripción *in situ*, se llevaron muestras al laboratorio y se determinaron algunas características físicas, químicas y biológicas del suelo, se tomaron datos de algunas propiedades para elaborar mapas de variabilidad espacial, se aplicó análisis estadístico descriptivo y no paramétrico y por último, se formularon las estrategias de manejo y conservación de los suelos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), sabana y Bosque natural.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en diferentes coberturas vegetales.
- Elaborar estudios de variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo *in situ* en diferentes coberturas vegetales.
- Analizar mediante la geoestadística la calidad de los suelos en diferentes coberturas vegetales.

1. MARCO REFERENCIAL

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales (Burbano, 2016); es por esto, importante saber que el suelo es un sistema polifásico, heterogéneo, particulado, disperso y poroso en el cual ocurre una infinidad de interacciones interfásicas (Valenzuela & Torrente, 2013). Por lo tanto, se identifica que el suelo es fundamental para la existencia de la humanidad, porque es indispensable en la producción de alimentos y materias primas.

Las actividades agropecuarias si bien no son totalmente excluyentes de otras actividades han provocado cambios sustanciales en los recursos naturales (biota, suelo, agua, atmosfera, paisaje) en algunos casos irreversibles e incompatibles con otras acciones humanas (Cantú, Bedano & Parra, 2009).

Esto indica, que se debe evitar la degradación, y para ello, se debe conocer la calidad del suelo, como la capacidad o aptitud de sostener la vida vegetal, animal y de los organismos que lo habitan, y de cumplir con sus funciones básicas de absorción, almacenaje de agua, filtrado de agua y contaminantes, ciclado de nutrientes y soporte; además, involucra las dimensiones física, química y biológica, su evaluación es esencial para determinar la sustentabilidad de los sistemas naturales o productivos (Rojas, Mórtoła, Romaniuk & Russo, s. f.).

Según el concepto de Atlas & Bartha, 2002 y Nannipieri *et al.*, 2003, citado por García, Ramírez, & Sánchez, 2012a, “el suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos”.

En la ciencia del suelo, Blum & Santelises, 1994 citado por Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007, describieron el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo basado en seis funciones ecológicas y humanas: el suelo como productor de biomasa; el suelo como reactor con filtros; el suelo como buffer y como transformador de materia para proteger el ambiente, el agua subterránea y la cadena de alimentos de la contaminación; el suelo como hábitat biológico y reserva genética; el suelo como medio físico y el suelo como fuente de recursos y de herencia cultural.

La formación del suelo es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables se deben,

principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (Budhu, 2007, citado por (García et al., 2012).

De acuerdo con los estudios de la composición del suelo, la materia orgánica es el 5%, la fracción mineral el 45% (sales, otros compuestos inorgánicos), aire y agua son la mitad (parte de las condiciones físicas). Las condiciones químicas están constituidas por las sales minerales, además del pH y la capacidad de intercambio catiónico, mientras que a las condiciones físicas las complementa la conductividad eléctrica y la textura de las partículas minerales no solubles como el cuarzo, los feldespatos, etc. Las condiciones biológicas están representadas por la materia orgánica, constituida por compuestos químicos orgánicos cuya composición básica es carbono, hidrogeno, y oxígeno, además de microorganismos, organismos vegetales y animales básicamente invertebrados (Vásquez, 2017).

Los suelos de la región Andina están localizados en las tres cordilleras que conforman el sistema orográfico principal del país. La gran variedad de climas que oscilan desde el cálido tropical hasta el frío del páramo, lo mismo que las distintas formas del relieve y la riqueza en materiales geológicos, hacen que los suelos sean igualmente variados. En las cordilleras Central y Occidental dominan los suelos derivados de cenizas volcánicas (Udands), cuya fertilidad los hacen altamente productivos. En la cordillera Oriental ocurren suelos generalmente jóvenes (Udepts) contaminados o no por cenizas volcánicas, asociados con suelos de laderas fuertes (Orthents), que presentan con frecuencia capas superficiales de roca (integrados líticos) que solo permiten el crecimiento de vegetación espontánea. Una característica común a todos los suelos de la cordillera es su relieve quebrado escarpado, que limitan el uso de maquinaria agrícola en áreas extensas y propician la pérdida de suelo por erosión (Sánchez, 2017).

La agricultura ha sido identificada como una de las actividades que causan mayor impacto adverso al ambiente en el área rural. Las diferentes labores agrícolas y el uso de agroquímicos contribuye a la contaminación del suelo y de las fuentes de agua, así mismo provoca la erosión y pérdida de nutrientes del suelo afectando la productividad del cultivo y el ambiente (Torrente, 2017). Durante más de medio siglo se han explotado los suelos únicamente en lo relacionado con su potencial químico, siempre orientada a fomentar el consumo de los fertilizantes y como consecuencia complementaria surge la necesidad de los plaguicidas (Vásquez, 2017).

Entre los grandes problemas que enfrenta la agricultura actual, por la intensificación del uso del suelo es la degradación física, química y biológica, generada por actividades de preparación de suelo para el establecimiento del cultivo y para el posterior mantenimiento del mismo hasta su ciclo productivo (Sandoval, Suarez & Montoya, 2017).

Las pérdidas altas de productividad de los suelos por procesos degradativos como la erosión por el agua, ha conducido a investigadores de diversos países a la realización de estudios numerosos de suelos y aguas con el fin de conocer su calidad y predecir la erosión tolerable bajo determinadas condiciones (lluvia, suelos,

pendiente, cultivos), lo que facilitaría la selección de prácticas integrales de conservación (prácticas agronómicas, obras civiles, construcciones, conducción de aguas de escorrentía entre otras), para diferentes usos del suelo y su protección, a los niveles de finca y cuenca hidrográfica (Rivera, 2017).

Se debe procurar que las propiedades del suelo mejoren. En propiedades físicas las estructuras que favorezcan la porosidad deben ser la misión de la agricultura. Así se favorece la infiltración, el almacenamiento de humedad y la conductividad hidráulica. En propiedades químicas, lo deseable es un pH cercano a 6.5 y elevación de la capacidad de intercambio catiónico. En propiedades biológicas, se busca la diversidad y equilibrio de la biota (Gómez, 2017).

Los suelos que ofrecen las condiciones ideales para que se formen ecosistemas completos, es porque cuentan con una cualidad especial: se encuentran en equilibrio. Esto es, que sus condiciones naturales ofrezcan las mejores condiciones para el desarrollo del sistema radicular de las plantas, el responsable del crecimiento y producción de las plantas en sus partes aéreas (Vásquez, 2017).

La calidad del suelo es un término actual y necesario, que se debe considerar en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas. Los indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema (García et al., 2012). Estimar la calidad de los suelos, es importante puesto que contribuye a establecer la sustentabilidad de los diferentes sistemas de manejos. Los suelos con máxima calidad son capaces de mantener alta productividad y causar el mínimo disturbio ambiental (Bacigaluppo *et al.*, 2009).

Un cambio en la cobertura del suelo de un área puede afectar negativamente las características potenciales de la zona, y en última instancia, puede conducir a la degradación y la pérdida de la productividad (Lozano *et al.*, 2010; Tesfaye *et al.*, 2014, citado por Cairo, Reyes, Aro, Valentin & Robledo, 2017).

1.1 Situación actual en el área de investigación

Riechman & Sempere, 2003 citado por García *et al.*, 2012a, plantearon que dicha agricultura ha tenido un impacto negativo en el suelo, manifestado en la degradación del 40% de la superficie agrícola en los últimos 50 años, la desertificación del planeta (seis millones de hectáreas por año) y la velocidad de la degradación – irreversible– del medio edáfico (que subió de un 10% por año en 1980 a 16% en 1990).

Pieri, 1989 & Etchevers, 1999, citado por García *et al.*, 2012a, plantearon que la fertilidad del suelo es un concepto mucho más abarcador, que debe integrar los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo. Uno de los parámetros importante

a tener en cuenta es el carbono orgánico del suelo (COS), que afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad (Carter, 2002; Wander *et al.*, 2002), 2) sustentabilidad (Carter, 2002; Acevedo & Martínez, 2003) y 3) capacidad productiva (Sánchez *et al.*, 2004, Bauer & Black, 1994), por lo que en un manejo sustentable, el COS debe mantenerse o aumentarse (Martínez, Fuentes & Acevedo, 2008).

En Colombia, la erosión en laderas y la pérdida de estructura acompañada de compactación subsuperficial en áreas de agricultura intensiva son los procesos de degradación física de suelos que disminuyen la capacidad productiva de las tierras del país (Guerrero, 1995; IGAC 1998, citado por Volverás, Amézquita & Campo, 2016).

La evaluación de los efectos de la actividad agropecuaria en el suelo permite establecer los parámetros necesarios para estimar la magnitud del impacto ambiental ocasionado por los sistemas productivos, lo que ayuda a la toma de decisiones enfocadas en la conservación, la sostenibilidad, y la productividad del suelo (Jamioy, Menjivar & Rubiano, 2015). Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de la calidad, deben cubrir las siguientes condiciones (Mäser *et al.*, 1999, citado por García, Ramírez & Sánchez, 2012b):

- Ser integradores.
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser fáciles de entender.
- Permitir cambios y diferencias entre los sistemas.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros.

Además de las condiciones anteriores, dentro de los atributos seleccionados como indicadores de la calidad de los suelos, Ramírez, 2004 señaló que:

- Deben ser sensibles a los cambios que sufre el suelo, tanto en los procesos de degradación como en los de recuperación.
- Debe haber una alta correlación con los procesos del ecosistema.
- Deben integrar los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.
- Deben ser relativamente fáciles de medir en condiciones de campo, tanto por los productores como por los especialistas.

Aguila *et al.*, 2016, evaluaron el efecto del uso agrícola sobre la calidad del suelo, con enfoque de escenarios comparados, seleccionaron un ecosistema natural y un agroecosistema “Baños de Marrero” de Santa Clara. Los indicadores físicos fueron agregados estables, permeabilidad, estructura y consistencia; los análisis químicos fueron pH, materia orgánica, P₂O₅ y K₂O; y en microbiología se realizaron diluciones seriadas para el conteo en placa de las unidades formadoras de colonias (UFC). Los resultados muestran buena estabilidad estructural de los suelos y diferencias significativas del pH, materia orgánica, disponibilidad de P y K y las poblaciones

microbianas, pero los componentes de la mesofauna evaluados no difirieron entre sí.

Cantú *et al.*, 2007, evaluaron un set mínimo de indicadores de la calidad del suelo en agroecosistemas. La metodología se probó en una unidad ambiental homogénea con Hapludoles típicos, bajo diferentes sistemas de uso y manejo, en una cuenca pedemontana de la provincia de Córdoba. A las propiedades medidas (carbono orgánico, pH, saturación de bases, agregados estables en agua, velocidad de infiltración, densidad aparente y el espesor horizonte A) se le establecieron rangos de calidad a partir de los cuales se normalizaron los indicadores, seleccionado un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, representando las condiciones locales.

Duval *et al.*, 2016, evaluaron el efecto de la secuencia e intensidad de las rotaciones sobre diferentes fracciones orgánicas en suelos bajo siembra directa, y analizaron la sensibilidad de algunos índices de calidad de suelos para distinguir entre prácticas de manejo. Se muestrearon dos escenarios agrícolas distintos en términos de rotación de cultivos, fertilización y uso de agroquímicos (Manejo intensivo diversificado y representativo regional y un ambiente sin disturbio natural) adyacente a los sitios agrícolas como tratamiento control. Los resultados ponen en evidencia la importancia del COT como indicador universal y la necesidad de tener en cuenta aspectos locales como manejo y/o estacionalidad, para la interpretación de los índices asociados a las fracciones más lábiles.

Bacigaluppo *et al.*, 2009, evaluaron la sensibilidad de una serie de parámetros químicos y bioquímicos en suelos representativos de la Región Pampeana de Argentina bajo diferentes manejos con el fin de establecer los parámetros que reflejen de manera más sensible y tempranamente el grado de degradación o recuperación. En ensayos con diferentes manejos localizados se evaluó: Carbono orgánico total (COT), carbono asociado a la fracción fina (CO_{ff}), carbono asociado a la fracción gruesa (CO_{fg}), carbono de la biomasa microbiana (CBM), actividad respiratoria microbiana (ARM) y actividad de las enzimas fosfatasa ácida (Pasa), deshidrogenasa (Dasa) y ureasa (Uasa). Los parámetros evaluados demostraron en algunas situaciones ser sensibles a las perturbaciones antropogénicas, correlacionándose adecuadamente con las funciones del suelo.

Martínez, Fuentes & Acevedo, 2008, en la evaluación del Carbono Orgánico y las propiedades del suelo en Chile, determinaron que estas variables se relacionan con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo asociadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes y proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. Existen

prácticas de manejo que generan un detrimento del COS en el tiempo, a la vez hay prácticas que favorecen su acumulación.

Cairo, Reyes, Aro, Valentín & Robledo, 2017, evaluaron el efecto de las coberturas sobre las propiedades del suelo en Venezuela, como base para establecer estrategias de producción sostenibles mediante la selección de cuatro áreas: Pasto de corte *king grass* (*Cenchrus purpureus* L.), pasto introducido estrella (*Cynodon plectostachyus* L.), bosque introducido caoba (*Swietenia mahogani* L) y bosque natural. Los análisis demostraron que el pasto introducido y su adecuado manejo mejoró y estabilizó las propiedades físicas y químicas estudiadas, después de seis años de establecido, en comparación con el resto de las coberturas. Se encontró una estrecha relación entre la materia orgánica con la densidad aparente y la arcilla + limo. Estas propiedades del suelo fueron las que mejor respondieron al efecto de las diferentes coberturas.

Volverás *et al.*, 2016, determinaron los cambios de algunos indicadores de calidad física en suelos en la zona cerealera fría de Nariño - Colombia y se evaluó el efecto del tiempo de uso en diferentes sistemas y pendientes. Los resultados mostraron que el aumento del tiempo de uso, generó cambios negativos en algunos indicadores hídricos. El agua disponible disminuyó de manera proporcional a la profundidad, en un 12% y un 33% para suelos cultivados durante 45 y 70 años respectivamente, lo que significa que algunas propiedades hídricas del suelo se afectan antes de los 25 años de uso intensivo; frente a la densidad aparente, el suelo pierde volumen en pocos años. Con excepción de la pastura, la porosidad total alcanzó valores agronómicos aceptables, con microporos mayores al 50%, lo que afecta el drenaje, el suministro de agua y el transporte de nutrientes hacia las plantas.

En sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia, Jamioy *et al.*, 2015, evaluaron varios indicadores para determinar la calidad de los suelos. La caracterización se analizó mediante componentes principales y por su importancia fueron priorizadas las propiedades siguientes: carbono orgánico, pH, acidez intercambiable, calcio y magnesio intercambiable y hierro. Con estos indicadores se propone una clasificación de la calidad química de los suelos de la región, que puede ser de gran utilidad en la implementación de sistemas de monitoreo que permitan la evaluación de la degradación de los suelos a través del tiempo debidos a cambios en los sistemas de uso.

2. METODOLOGIA

2.1 Localización de la zona de estudio

La zona de estudio se ubica en la vereda Buenavista, Finca del mismo nombre en el Municipio de Nátaga, departamento del Huila con coordenadas $02^{\circ} 33' 57.0''$ N y $75^{\circ} 46' 30.4''$ W a 1900 msnm (Ver Figura 1).

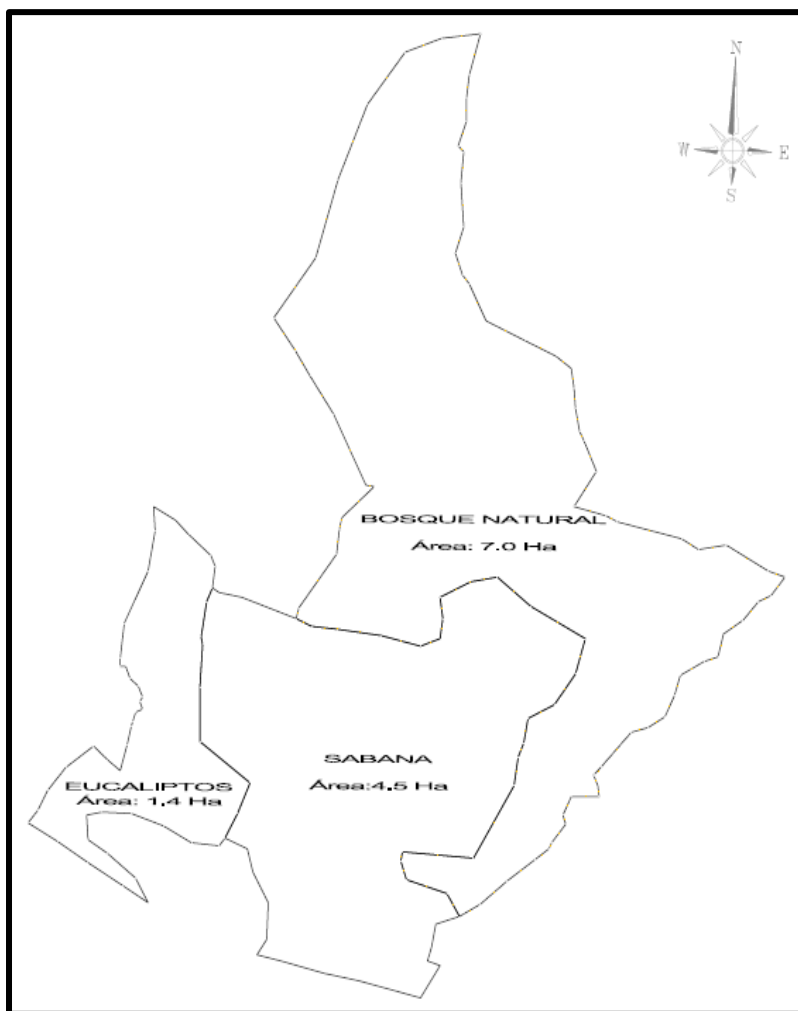


Figura 1. Localización de la Finca Buenavista, municipio de Nátaga

El procedimiento para evaluar la calidad del recurso suelo en las tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucaplytus Grandis*), sabana y zona de reserva natural fue el siguiente:

2.2 Caracterización de los suelos de las diferentes coberturas vegetales

2.2.1 Georreferenciación de las áreas con diferentes coberturas vegetales

Se recolectó información de la zona de estudio mediante una encuesta con 10 preguntas, la cual se aplicó al propietario y demás personas conocedoras del área; se les pregunto acerca del manejo del suelo a través del tiempo, los cambios que ha tenido la finca, las especies de flora entre otras (Ver anexo A).

2.2.2 Reconocimiento de la zona de estudio

Se hizo un recorrido a toda la Finca para seleccionar e identificar las áreas representativas de las tres coberturas y se seleccionaron los sitios para el muestreo de suelos. Se delimitaron y georreferenciaron las áreas con un GPSmap 62sc GARMIN, luego se descargó la información mediante el software libre MapSource y con el programa AutoCad 2013 y se levantaron los planos del área.

2.2.3 Análisis de suelo

2.2.3.1 Trabajo de Campo

Identificadas las áreas representativas de las tres coberturas, se escogieron los sitios de apertura de las calicatas de 1.0 m x 1.0 m x 1.0 m en cada una de las diferentes coberturas vegetales. Se procedió a la identificación y descripción de cada uno de los perfiles del suelo, reconociendo sus rasgos pedológicos y sus diversas características para la clasificación agrológica y taxonómica.

En cada una de las calicatas, se recolectaron muestras de suelo en los primeros 30 cm de profundidad y posteriormente se enviaron al laboratorio para análisis físico, químico y biológico. Se utilizaron los siguientes elementos y herramientas: bolsas plásticas ciplot, balde limpio, barreno holandés, muestreador de núcleo, Tabla Munsell, cinta métrica y palín.

En cada una de las calicatas, se hizo la descripción de los horizontes para conocer su textura, estructura, color en seco y en húmedo, la consistencia en seco, en húmedo y en mojado, la porosidad, la presencia o ausencia de raíces y su cantidad.

De cada una de las calicatas de las coberturas vegetales, se extrajeron 3 muestras de suelo de los primeros 30 cm.

2.2.3.2 Trabajo de laboratorio

Se llevaron las muestras de suelo al Laboratorio Agroambiental de Suelos y Aguas - LAGSA de la ciudad de Neiva, donde se realizaron los análisis y pruebas experimentales físicas, químicas y biológicas pertinentes. Los parámetros

evaluados fueron los siguientes:

▪ **Físicos del suelo:**

Se analizaron según la metodología del IGAC, 2006, así:

- ✓ **Retención de Humedad:** Se midió la humedad a 5 puntos de tensión (0.3, 1, 3, 5 y 15 bar); con esta información se trazaron las curvas de retención de humedad de cada uno de los suelos - cobertura.
- ✓ **Densidad Aparente.** Cilindro de volumen constante.
- ✓ **Textura.** Método de Bouyoucos.
- ✓ **Estructura.** Método Yoder.

▪ **Químicos del suelo:**

Estos parámetros se analizaron según las Normas Técnicas Colombianas (NTC), así:

- ✓ **pH** (NTC 5264)
- ✓ **Nitrógeno Total (Nt):** Se calculó asumiendo que una quinta parte de la materia orgánica corresponde a nitrógeno total y se empleó la siguiente formula: $Nt = MO(\%)/20$
- ✓ **Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio** (NTC 5349)
- ✓ **Carbono Orgánico** (NTC 5403)
- ✓ **Conductividad Eléctrica:** Extracción en pasta saturada

▪ **Biológicos del suelo:**

- ✓ **Materia orgánica:** Se analizó el % de carbono orgánico oxidable por el método de combustión húmeda, conocido como "Walkley and Black" y se multiplicó por la constante de 1,724 (constante que resulta de dividir 100/58), asumido como buen estimador del contenido de materia orgánica del suelo.
- ✓ **Relación C/N:** Carbono por Walkey and Black y el Nt se calculó asumiendo que una quinta parte de la materia orgánica corresponde a nitrógeno total y se emplea la siguiente formula: $Nt = MO (\%)/20$.
- ✓ **Dinámica microbial:** Se usó el método de incubación en medio cerrado con 5 mL de NaOH 1N descrito por Anderson (1982), (Castro, 2015)

Se realizaron tres replicas por cada tratamiento para mayor confiabilidad.

2.2.3.3 Indicadores de calidad del suelo

Los indicadores para la evaluación de la calidad del suelo fueron los siguientes:

- **Físicos del suelo:**

- ✓ **Profundidad efectiva:** Se midió con el penetrometro manual en cada cobertura, luego se elaboró el mapa de variabilidad espacial)
- ✓ **Capacidad de retención de agua en los primeros 30 cm de profundidad:** Se midió con el equipo Prockek en cada cobertura, luego se elaboró el mapa de variabilidad espacial)
- ✓ **Estabilidad de agregados:** La información se tomó de los análisis de laboratorio – Método Yoder.
- ✓ **Conductividad hidráulica saturada:** Se calculó mediante la siguiente ecuación $\mu^2 = K$, donde $\mu = \Theta_s - \Theta_{cc}$, Θ = Humedad volumétrica.
- ✓ **Textura:** Se midió en laboratorio con el método de Bouyoucos.

- **Químicos del suelo:**

- ✓ **pH:** Se midió en laboratorio con el potenciómetro
- ✓ **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** Se midió en el laboratorio con el método de desplazamiento de la fase intercambiable de la totalidad de los cationes mediante solución saturada de acetato de amonio (NH_4OAc) 1 N a pH 7.
- ✓ **Saturación de bases (SB):** Se determinó con los resultados del laboratorio de las bases Ca, Mg, K y Na y la CIC, y se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%SB = \frac{Ca+Mg+K+Na}{CIC} * 100$$

- ✓ **Bases intercambiables:** Se determinaron en laboratorio y se promediaron los datos de las bases.
 - ✓ **Salinidad:** se tuvo en cuenta los datos de laboratorio y de campo de la conductividad eléctrica.
- **Biológicos del suelo:**
 - ✓ **Materia orgánica:** Se determinó en laboratorio

- ✓ **Relación C/N:** Con los resultados de C y N obtenidos en laboratorio se dividió y se obtuvo este indicador.
- ✓ **Dinámica microbial:** Se determinó en laboratorio con el método de respirometría de los suelos.

Luego, de tener los resultados de cada uno de los indicadores obtenidos de la información de campo y laboratorio se promediaron y se clasificaron de acuerdo al (IGAC, 2006); (Benites, 2015).

Siguiendo la metodología de Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007, los indicadores fueron normalizados utilizando una escala 0-1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador.

Existen dos situaciones posibles:

- La primera es cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador: $V_n = 1$)

Se calculó mediante la siguiente ecuación: $V_n = I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min}$

- La otra situación es cuando el valor I_{max} corresponde a la peor situación de calidad de suelo ($V_n = 0$)

Se calculó mediante la siguiente ecuación: $V_n = 1 - (I_m - I_{min} / I_{max} - I_{min})$

Donde:

V_n = valor normalizado

I_m = medida del indicador

I_{max} = valor máximo del indicador

I_{min} = valor mínimo del indicador

Los valores máximos y mínimos fueron establecidos de diferentes formas para cada indicador. Para algunos atributos, especialmente para las condiciones óptimas, se tuvieron en cuenta umbrales calculados a partir de los valores de los suelos de referencia mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos.

Para la Profundidad efectiva se tuvo en cuenta el valor mínimo para el desarrollo de cualquier planta y el valor máximo fue amplio teniendo que cuenta que en las coberturas se encuentran especies arbóreas. El valor máximo y mínimo de los indicadores: capacidad de retención de agua en los primeros 30 cm de profundidad, estabilidad de agregados, conductividad hidráulica saturada, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, bases intercambiables, salinidad, materia orgánica, relación C/N y la dinámica microbial fueron determinados por los umbrales de los valores en las coberturas de los suelos y parámetros técnicos. Para el indicador Textura, se utilizó un calificador para obtener un valor numérico y un

Imax y Imin (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Calificador para determinar el valor numérico de la textura

Calificador (C)	Clase Textural
2 (Bueno)	Franco Limoso
1.5 (Moderadamente Bueno)	Franco Arcilloso
1 (Moderado)	Franco Arenoso
0.5 (Moderadamente Pobre)	Arena Franca, Arcilla
0 (Pobre)	Arena

Fuente: (Benites, 2015)

El valor mínimo de pH fue establecido considerando el punto de toxicidad para el desarrollo de la mayoría de los cultivos de la zona y el máximo de calidad correspondió al pH neutro (Whittaker *et al.*, 1959; Soil Survey Staff, 1993, citado por Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007).

Finalmente, se estableció un índice de calidad de suelos (ICS) promediando los valores de todos los indicadores. Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de transformación en cinco clases de calidad de suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Clases de calidad de suelos

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 – 0,59	3
Baja calidad	0,20 – 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 – 0,19	5

Fuente: (Cantú, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007)

2.3 Variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo *in situ*

2.3.1 Mapas de variabilidad espacial

Se levantó en el programa ArcMap 10.3, una malla de puntos de 50 m x 50 m para el área de bosque natural teniendo en consideración su conservación y estabilidad en el tiempo y una malla de puntos de 25 m x 25 m para las demás coberturas vegetales por las intervenciones antecedentes que causan mayores alteraciones en el agrosistema. Con ayuda del GPSmap 62sc GARMIN se trazó una malla; los parámetros se evaluaron a una profundidad de 30 cm excepto la profundidad efectiva que depende de la resistencia a la penetración; se determinaron los siguientes parámetros:

- ✓ Profundidad efectiva (Barreno Holandés)

- ✓ Retención de humedad (Equipo Prockek)
- ✓ Conductividad eléctrica (Equipo Prockek)
- ✓ Resistencia a la penetración (Penetrómetro manual)

Con la información anterior, se trazaron los mapas de variabilidad espacial en el programa ArcMap 10.3 para las tres coberturas vegetales con el propósito de observar *in situ* las tendencias de estos parámetros.

2.4 Geoestadística de la calidad de los suelos

2.4.1 Análisis geoestadístico

Para efectos de caracterizar las variables, se evaluaron los datos obtenidos mediante técnicas de estadística descriptiva para lo cual se utilizaron los estadísticos paramétricos como media, varianza y desviación estándar. Se aplicó análisis univariado a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo utilizando el coeficiente de variación (CV) y su clasificación en cuatro categorías definidas por Vásquez, 2009 citado por Vargas & Serrato, 2014, así:

CV < 20%	(Variables relativamente homogéneas)
20 < CV < 40%	(Variables moderadamente heterogéneas)
40 < CV < 60%	(Variables normalmente heterogéneas)
CV > 60%	(Variables extremadamente heterogéneas)

Luego se aplicó estadística no paramétrica de la siguiente manera:

Prueba t para muestras relacionadas: Permitted comparar las medias (épocas contrastantes) de cada parámetro bajo las condiciones de cada sistema de manejo.

Matriz de coeficientes de correlación de Spearman: Se aplicó para determinar la intensidad (dirección y magnitud) de asociación entre los parámetros evaluados, a la vez se cuantificó el grado de correlación.

Análisis de Componentes principales (ACP): Dada la asociación observada entre los parámetros, se procedió a reducir su número mediante esta técnica estadística con el objetivo de perder la menor información posible.

Análisis Clúster (CA): Se utilizó para medir la similitud entre los parámetros, de tal forma que permitió agrupar bajo las condiciones de manejo para cada uso de suelo.

Para tales fines se usó el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI, y el programa Excel para la recopilación de los datos obtenidos. Se hizo análisis geoestadístico con el software ArcGis ArcMap 10.3, para determinar la relación y dependencia de las variables estudiadas espacialmente, ajustando los semivariogramas a los modelos de mayor eficiencia.

2.5 Estrategias de manejo y sostenibilidad de los suelos

De acuerdo a los resultados se diseñaron estrategias de manejo para mitigar la degradación de los suelos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Reconocimiento de la zona de estudio

De acuerdo a las 10 encuestas realizadas a las personas cercanas a la finca, el 70% de las personas encuestadas se encuentran en un rango de edad entre 31 y 41 años, conocen la finca Buenavista y califican los suelos como aptos para las actividades agropecuarias, entre los usos más sobresalientes, son la ganadería extensiva con un 60%, bosque natural con un 30% y plantaciones forestales con un 10%. Las labores culturales que usualmente se practican en las zonas intervenidas son la desyerba con maquinaria, podas, fertilizaciones, fumigaciones y en menor proporción las quemas (Figura 2), (Anexo A).

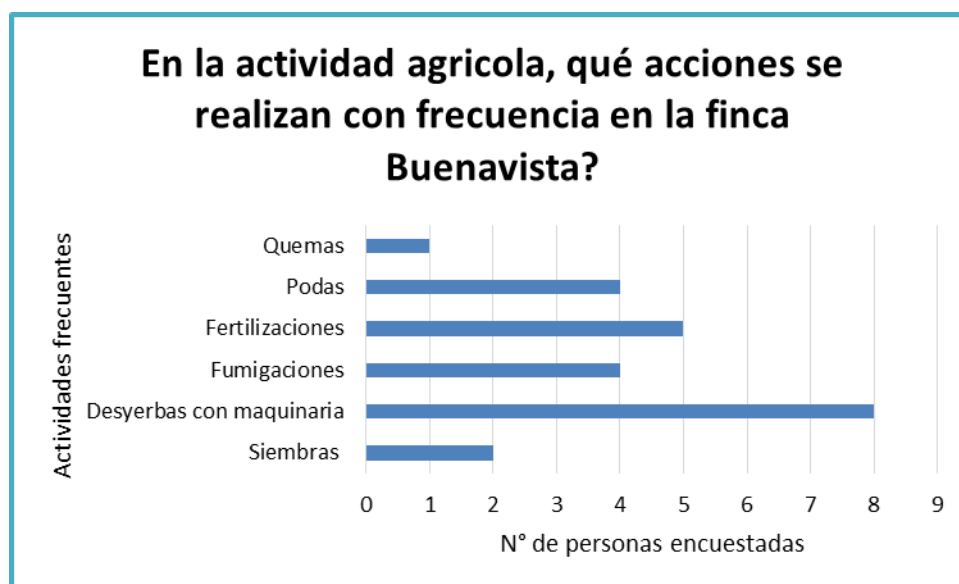


Figura 2. Actividades agrícolas frecuentes

3.1.1 Descripción de las zonas seleccionadas

Las áreas seleccionadas están distribuidas de la siguiente forma:

Bosque Natural: Área con 7.0 ha, caracterizado como bosque natural no intervenido; cuenta con especies vegetales como Lacre rosado (*Vismia baccifera*), Aguacatillo (*Persea caerulea*), Helecho (*Adiantopsis radiata* L. Fée), Nacedero (*Trichanthera gigantea*), Iguá (*Albizzia sama*), Roble morado (*abebuia rosea*), Cedro amarillo (*abebuia chrysantha*), Cedro (*Cedrela sp.*), Balso (*Ochroma lagopus*), Samán (*Samanea saman*), Hojiancho, (*Morella pubescens*), Amarillo (*Aspidorperma macrocarpon*) entre otros.

El clima dominante en la región corresponde a Clima medio húmedo (MH) con temperaturas entre 18 y 24 °C, además existen nacimientos de agua que recorren el entorno, el suelo posee bastante mulch y material vegetal en diferentes estados de descomposición.

Sabana: Área con 4.5 ha en sabana dedicada a ganadería extensiva y con deficiente drenaje por aportes de escorrentía de la parte alta, dividida en dos lotes, uno con presencia de pasto común, helechos, y el otro con guadales. A pesar de que el clima en la zona es fresco, el área recibe insolación directa por falta de cobertura arbórea (Figura 1).

La zona se divide en dos potreros, en donde se rota el ganado de acuerdo a la oferta de biomasa de pasto, luego de ser consumido el pasto se guadaña para activar el rebrote, no se realiza ninguna otra práctica cultural en esta cobertura vegetal.

Plantación Eucaliptos: Área con 1,4 ha en plantación de eucaliptos en dos etapas fenológicas (1 y 2 años de siembra). Además de eucaliptos, existen pastos naturales (sabana) y el pasto Micay (*Axonopus micay H*). La topografía es inclinada con antecedentes de procesos erosivos ligeros a moderados (Anexo B).

Dentro de las prácticas culturales que se han realizado en esta zona son 3 fertilizaciones con 10 – 30 – 10, la primera al mes de sembrados, la segunda a los 5 meses con 80 gr y la tercera a los 11 meses con una dosificación de 160 gr, algunas fumigaciones con productos como: abamectina, aminoquin, mancozeb y pegante, además dos podas de formación y desyerbas con guadaña.

3.2 Caracterización físico- química y biológica de las coberturas vegetales

3.2.1 Propiedades físicas del suelo

Los suelos de las tres áreas de cobertura vegetal a nivel general, tienen densidad aparente baja, siendo menor en el suelo con Bosque Natural y en consecuencia posee mayor porosidad, mayor contenido de materia orgánica y mayor humedad aprovechable, lo que difiere de las otras coberturas vegetales (Figura 3).

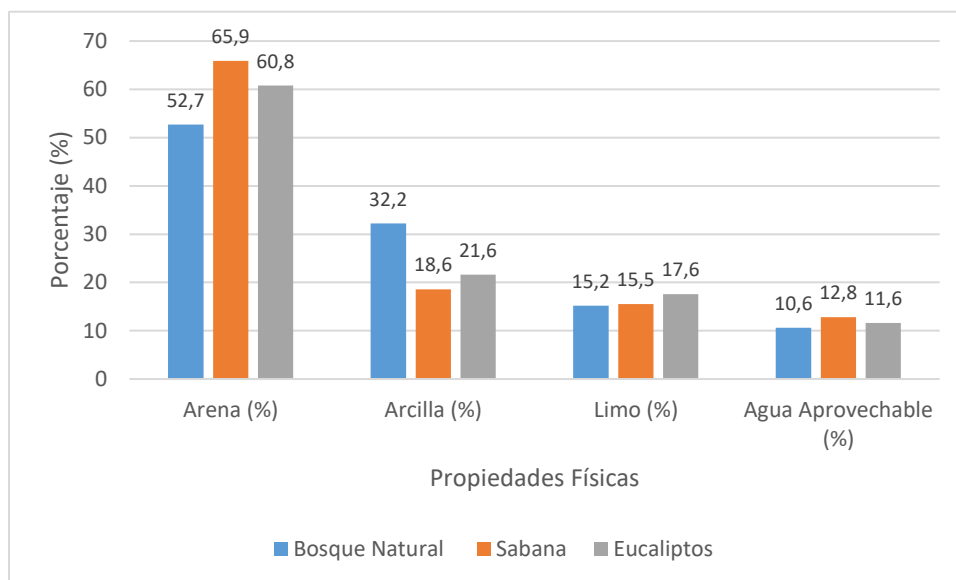
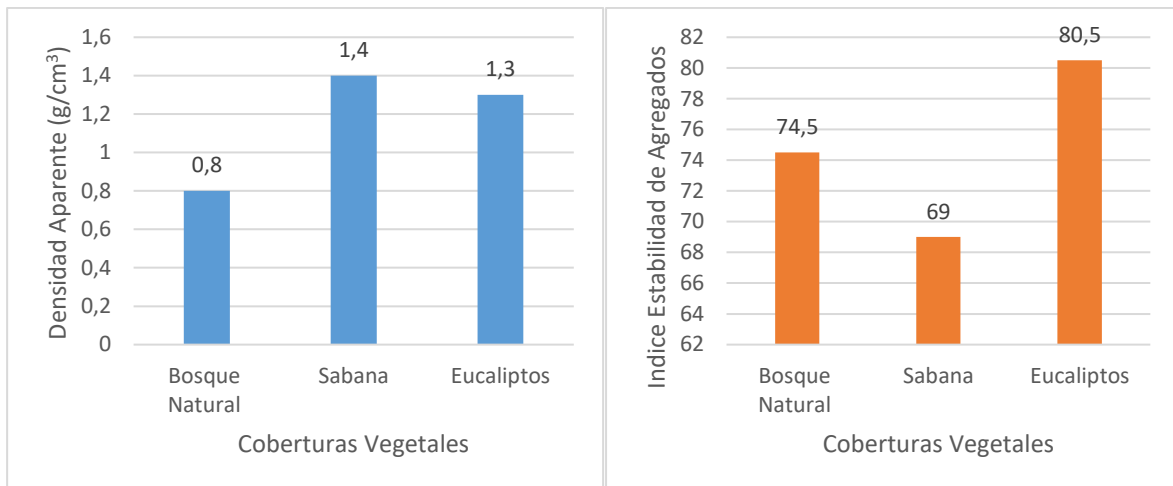


Figura 3. Propiedades físicas de los suelos

A continuación se analizan los resultados para cada una de las propiedades físicas:

Densidad Aparente (Da): Según Salamanca & Khalajabadi, 2005, la Da es la característica que en mayor grado influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo. Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces. Está afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual a su vez está determinado principalmente por la materia orgánica del suelo.

A medida que aumenta la MO y el espacio poroso, disminuye la Da y viceversa; teniendo en cuenta esta apreciación, de acuerdo a la investigación la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) para las coberturas Bosque, sabana y la plantación de eucaliptos, fueron de (0.75, 0.05); (1.36, 0.0251) y (1.33, 0.0152) respectivamente, con esto se evidencia la relación entre el resultado de la zona testigo considerada como bosque natural y el aumento en la densidad aparente en la zona de sabana utilizada en ganadería extensiva hace 30 años, y como consecuencia disminuye la porosidad y se presenta compactación del suelo. Así mismo, la zona de eucaliptos con un valor un poco inferior al de sabana porque la plantación lleva aproximadamente 2 años y se nota el cambio favorable en esta cobertura vegetal. Según Chavarría *et al*, 2012; citado por Leyva, Baldoquín & Reyes, 2017, señalan que en el sistema boscoso, la poca intervención humana, promueve un mayor número de lombrices y de contenido de materia orgánica, lo que explican una menor densidad aparente del suelo (anexo C).

Índice de Estabilidad de Agregados: La media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de esta propiedad son (74.48, 2.007); (68.96, 2.6846) y (80.42, 4.309) para la cobertura del bosque, de la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente, considerados en la clasificación como alto para el bosque y plantación de eucaliptos y moderado para la sabana; esto indica con respecto al testigo (Bosque), que la plantación de eucaliptos ha contribuido positivamente en la estabilidad del suelo, teniendo en cuenta que es una zona pendiente y con procesos erosivos antecedentes, diferente a la sabana que es una zona ondulada a plana y recibe en algunas partes la escorrentía provocando el arrastre de partículas del suelo, congruente a los resultados de (Volveras & Collazos, 2009), que manifiestan que el tipo y tiempo de uso del suelo genera cambios en la distribución del tamaño de agregados estables y afecta la estabilidad estructural.

Textura: La textura de los suelos de las tres coberturas vegetales son franco arcillo arenosos con diferentes proporciones entre ellas, siendo menor el contenido de arcilla en la sabana y mayor en el bosque; el % de arena es mayor en la sabana y menor en el bosque; y la cantidad de limos tiende a ser similar en los diferentes suelos.

Retención de Humedad: La retención de humedad del suelo a cinco tensiones (0.3, 1, 3, 5, 15 bares), permitió la construcción de las graficas de potencial para cada cobertura vegetal (figura 4).

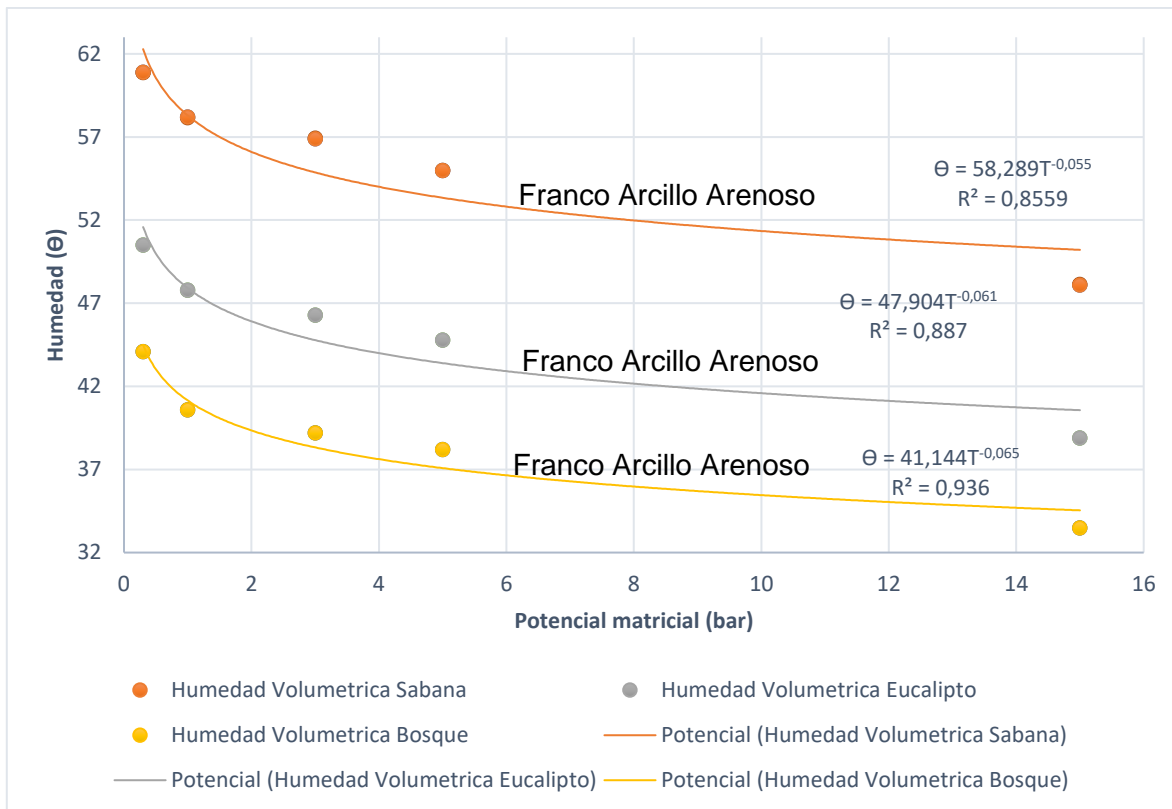


Figura 4. Curvas de retención de humedad del suelo en las tres coberturas

La retención de humedad del suelo está asociada a la textura y estructura del suelo, además es posible calificar la capacidad de retención de cada suelo. En la figura 4 se observa que la zona de sabana tiene un mayor contenido de humedad teniendo en cuenta que la topografía es medianamente ondulada con presencia de montañas a su alrededor ocasionando vertimientos a esta región, solamente cuenta con sabana y ha sufrido daños en la estructura del suelo por el pisoteo del ganado; la zona de bosque tiene menor cantidad de agua aprovechable, debido a que es una cobertura con mayor cantidad de vegetación arbórea, arbustiva y herbácea lo que genera un mayor consumo de agua, y en la plantación de eucaliptos, la topografía es inclinada, lo cual ayuda a la infiltración y escurrimiento del agua, además el cultivo requiere mayores contenidos de agua para su desarrollo.

3.2.2 Propiedades Químicas del suelo

El suelo del bosque natural es ácido con alta concentración de aluminio intercambiable y alto contenido de materia orgánica (figura 5). A continuación se presenta la discusión de resultados para las propiedades químicas del suelo:

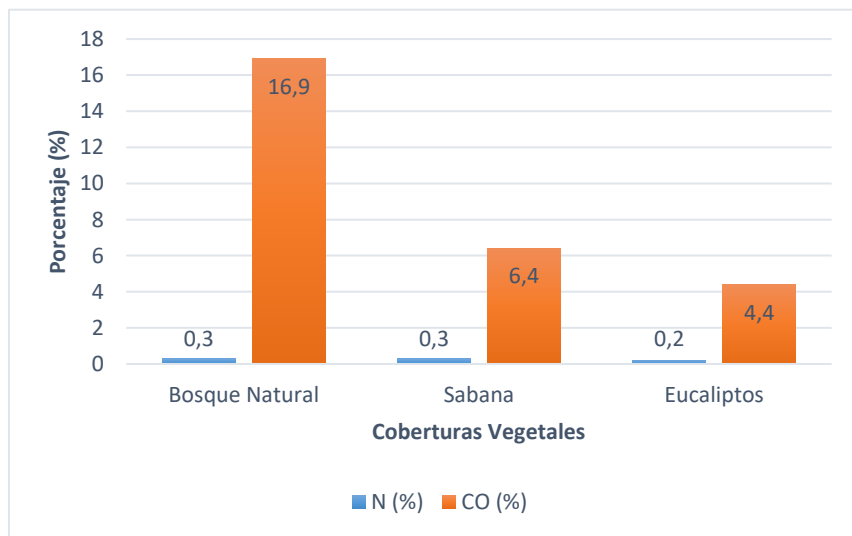
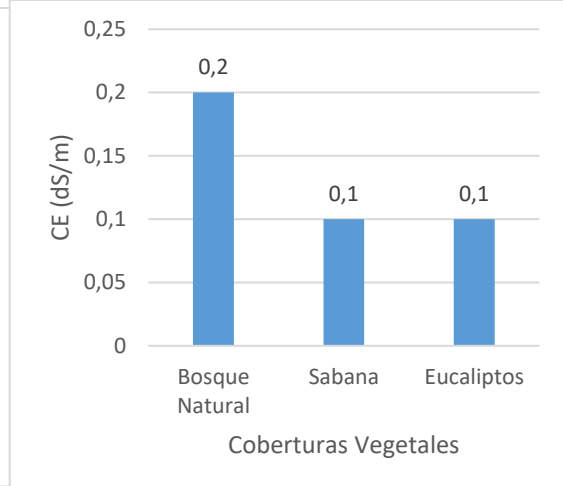
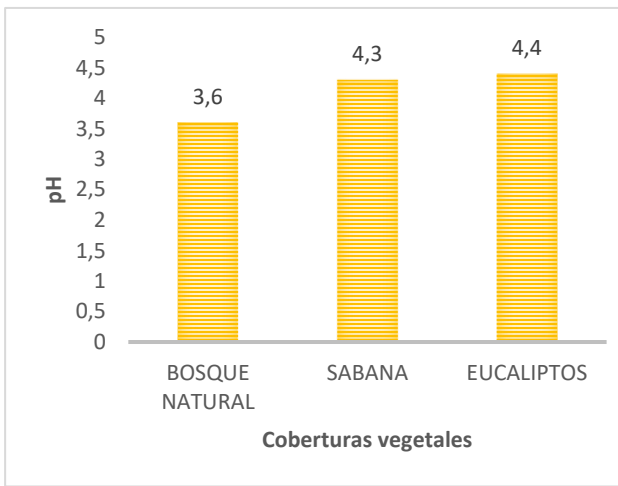
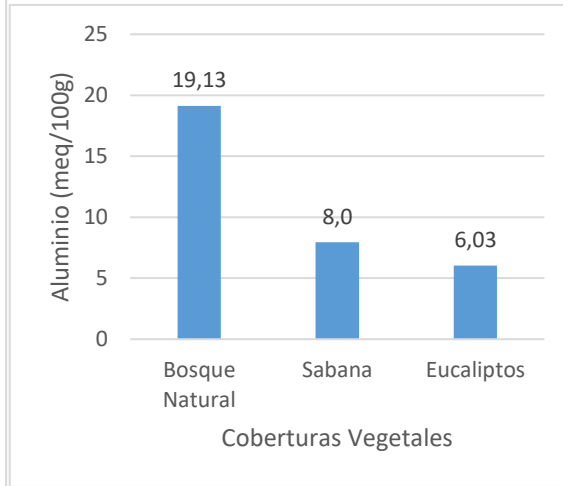
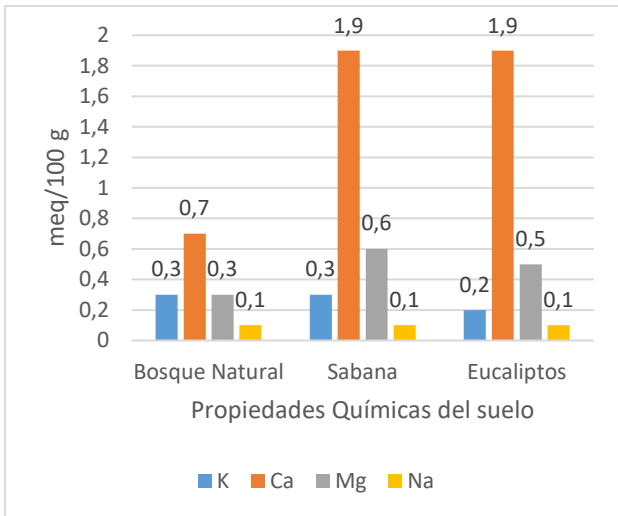


Figura 5. Propiedades químicas de los suelos

pH: Los suelos de las tres coberturas son extremadamente ácidos con valores de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de (3.57, 0.0608); (4.33, 0.0435) y (4.42, 0.2764) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente, esto indica según la afirmación de López *et al.*, 1981 citado por (Aguila, Marrero, Hernandez, & Ruiz, 2016), que “el manejo orgánico de los suelos puede mantenerse en el rango de ligera acidez debido a que la MO tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo, así como por efecto de la nitrificación del amonio que resulta en una disminución del pH debido a la liberación de los protones a la solución del suelo”. Se comparte esta afirmación debida a que la materia orgánica de los suelos de la cobertura de bosque y de sabana es alta y en la plantación de eucaliptos es de alto a medio.

Luego de verificar las causas de la acidez, se midió la concentración de aluminio arrojando valores de 19.13 me/100g (bosque), 7.96 me/100g (sabana) y 6.02 me/100g (eucaliptos), corroborando según Silva 2013, que el aluminio es uno de los factores principales de la acidez del suelo. Los iones Al^{+++} se hidrolizan para formar complejos monoméricos hidroxialumínicos.

Conductividad Eléctrica (CE): Según Jaramillo, 2008, la CE es el índice de salinidad en el suelo y se clasifica como normal aquellos con C.E < 4 y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) < 15). En el presente estudio, la CE arrojó valores de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de (0.17, 0.0356); (0.08, 0.0152) y (0.07, 0.0435) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente, cuya clasificación indica suelos normales. Según Samouëlian *et al.*, 2005 citado por Vázquez *et al.*, 2012, la conductividad eléctrica es afectada por el contenido de humedad del suelo y esto explica las diferencias encontradas con relación al área con bosque, asociadas a la menor Da (0.75 g/cm³).

Nitrógeno Total (N_t): El N_t en las tres coberturas vegetales es alto, con valores de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de (0.34, 0.0057); (0.3, 0.0251) y (0.22, 0.0251) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente. El comportamiento de la zona de sabana se debe, según Silva, 1988 citado por Aguirre *et al.*, 2018, que las raíces de los pastos de ciclo de vida corto, se descomponen rápidamente y contribuyen al incremento MO y a la síntesis de humus en la rizósfera que es más activa y extensa en estas especies; esto hace que los valores sean muy cercanos al bosque, y, según Cruz *et al.*, 2012 citado por Aguirre *et al.*, 2018 en el bosque, las raíces de larga vida (árboles) y la adición de residuos (hojas y madera) sobre la superficie del suelo aumenta el tiempo de incorporación y de descomposición de la materia orgánica. Diferente a lo que sucede en el eucalipto que aunque es un valor alto, años atrás presentaba problemas de erosión y desde hace 2 años se estableció la plantación de eucaliptos condición que contribuye al aporte de nitrógeno en el suelo y además se le agrega fertilizante esporádicamente.

Potasio (K): La concentración de K en las coberturas vegetales es bajo, con valores de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de (0.25, 0.1594); (0.25,

0.0305) y (0.21, 0.0513) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente; esto se explica por la alta demanda de las plantaciones por este elemento esencial, sin la reposición necesaria para mantener el equilibrio nutricional.

Sodio (Na): Los suelos no presentan riesgo de sodificación, siendo sus valores de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de (0.09, 0.0351); (0.07, 0.01) y (0.11, 0.0416) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente. Florencia *et al*, 2018, observaron un aumento en la concentración de sodio en las plantaciones forestales y lo atribuyeron a un efecto combinado de aumento de la evapotranspiración bajo influencia forestal y el consecuente ascenso de sodio en la napa. Efecto no experimentado en el actual estudio.

3.2.3 Propiedades Biológicas del suelo

Los resultados de las propiedades biológicas de los suelos de las tres coberturas vegetales se observan en la figura 6 donde se aprecia valores altos de materia orgánica para la cobertura de Bosque Natural, seguida de la sabana y la zona de la plantación de Eucaliptos; además se muestran valores similares de dinámica microbiana en las tres coberturas vegetales.

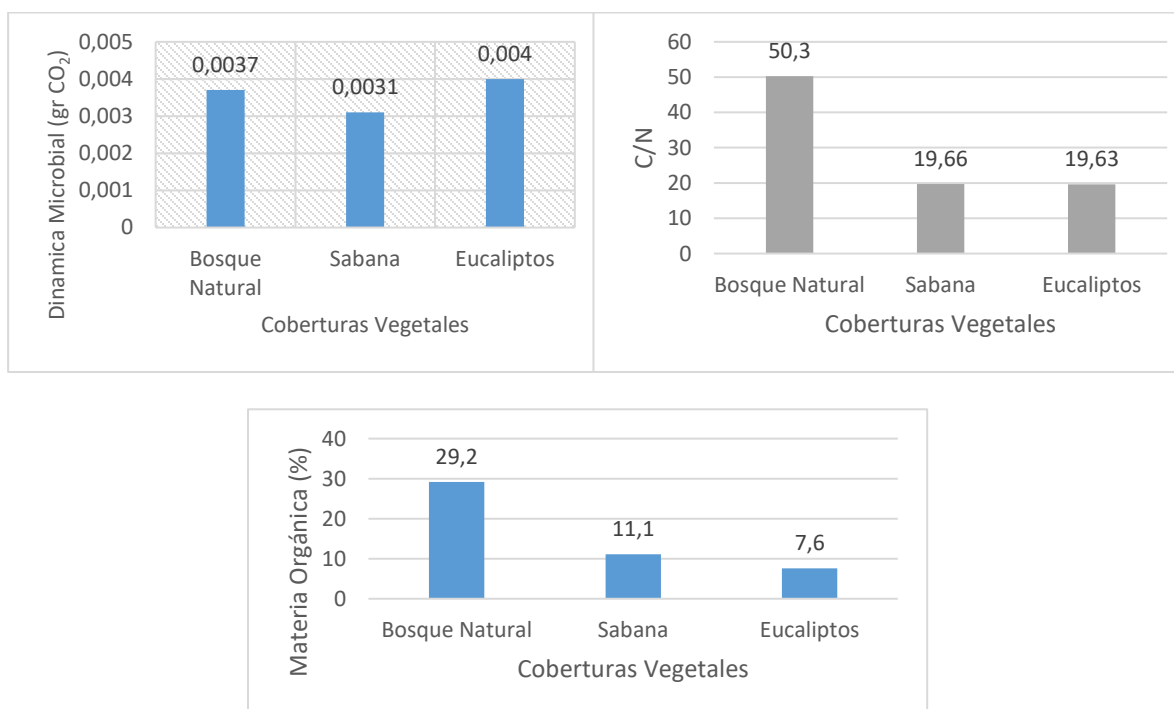


Figura 6. Propiedades biológicas del suelo

Materia Orgánica (MO): Los valores de MO de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) de las coberturas vegetales tienden a ser altos así (29.04, 3.5273); (11.07, 0.5533) y (7.51, 1.2207) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente. De acuerdo con Llorente, 2004 citado por Silva & Díaz, 2018: “La MO del suelo es un indicador clave de su calidad, tanto en sus funciones agrícolas (producción y economía) como en las ambientales; es el principal determinante de la actividad biológica del suelo”; mediante los resultados se evidencia la cantidad de MO en la zona del bosque seguidamente en la sabana y la recuperación gradual de la plantación de eucaliptos.

Dinámica Microbial: La dinámica microbial se evaluó mediante la técnica de respirometría de los suelos, los valores hallados de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) fueron de (0.0037, 0.0002); (0.0031, 0.0003) y (0.0037, 0.0001) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente; teniendo claro que los principales factores que regulan la respiración del suelo son la temperatura, la humedad (Davidson *et al.*, 1998); la precipitación (Hussain *et al.*, 2011), y el tipo de vegetación (Scholze *et al.*, 2003); citados por (Yáñez *et al.*, 2017); las coberturas del bosque y eucaliptos presentan microclima con temperatura entre 22,5°C y 24,7°C diferente a las condiciones de sabana cuya temperatura promedio es de 27°C. La medición del CO₂ respirado es una estimación de la actividad y, por lo tanto de presencia microbial (Vásquez *et al.*, 2013) (figura 6).

Relación C/N: Los valores de la media aritmética y la desviación estándar (\bar{X} , S_x) fueron de (50.01, 6.4292); (19.66, 0.4200) y (19.57, 1.6976) para la cobertura del bosque, la sabana y de la plantación de eucaliptos respectivamente. Según Gamarra *et al.*, 2017, esta relación es un índice de la calidad del sustrato orgánico del suelo, da a conocer la tasa de nitrógeno disponible para las plantas; cuyos valores altos implican que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales; en cambio, valores entre 10 y 14 corresponden a una mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para los vegetales. De acuerdo a los resultados con valores superiores a 14, se estimulan los microorganismos y hay nutrientes suficientes, siendo el valor más alto el bosque donde la descomposición es más lenta.

3.2.4 Indicadores de calidad del suelo (ICS)

Para valorar la calidad del suelo se tomó el valor promedio de cada indicador y su clasificación. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios de los indicadores de calidad del suelo de las diferentes coberturas vegetales

INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO	AGROSISTEMAS					
	BOSQUE NATURAL		SABANA		EUCALIPTOS	
	Resultado	Clase	Resultado	Clase	Resultado	Clase
INDICADORES FISICOS						
1. Profundidad efectiva (cm)	50	Moderadamente profundo	28,5	Superficial	35	Superficial
2. Capacidad de retención de agua en los primeros 30 cm de profundidad (%)	56,1	Muy alto	53,4	Muy alto	35,6	Alto
3. Estabilidad de agregados	74,48	Alto	68,96	Moderada	80,42	Alto
4. Conductividad hidráulica saturada (m/día)	1,3	Moderada	2,01	Moderadamente rápida	1,66	Moderadamente rápida
5. Textura	FArA	Moderadamente pesados	FArA	Moderadamente pesados	FArA	Moderadamente pesados
INDICADORES QUIMICOS						
1. pH	3,57	Extremadamente ácido	4,33	Extremadamente ácido	4,42	Extremadamente ácido
2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (meq/100g)	20,45	Alto	10,75	Medio	8,78	Bajo
3. Saturación de bases (%)	6,5	Bajo	26	Bajo	35,5	Medio
4. Bases intercambiables (meq/100g)	1,32	Bajo	2,79	Bajo	2,75	Bajo
5. Salinidad (Conductividad Eléctrica (dS/m))	0,17	Normal	0,08	Normal	0,07	Normal
INDICADORES BIOLÓGICOS						
1. Materia orgánica (%)	29,04	Alto	11,07	Alto	7,51	Medio
2. Relación C/N	50,01	Alto	19,66	Alto	19,57	Alto
3. Dinámica microbiana (gr CO ₂)	0,0037		0,0031		0,0037	

Luego se tuvo en cuenta el valor de los indicadores y valores máximos y mínimos, además de las dos posibles situaciones $V_n = 0$ y $V_n = 1$, para calcular el ICS de cada cobertura vegetal (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Indicadores de calidad de suelos, valores máximos y mínimos definidos para las diferentes coberturas

Indicadores	Imax Valor Máximo	Imin Valor Mínimo	Bosque			Sabana			Eucalipto		
			Im	Vn=1	Vn=0	Im	Vn=1	Vn=0	Im	Vn=1	Vn=0
Indicadores Físicos											
1. Profundidad efectiva (Cm)	150	10	50	0,29		28,5	0,13		35	0,18	
2. Capacidad de retención de agua en los primeros 30 cm de profundidad (%)	60	5	56,1	0,93		53,4	0,88		35,6	0,56	
3. Estabilidad de agregados	81	40	74,48	0,84		68,96	0,71		80,42	0,99	
4. Conductividad hidráulica saturada (m/día)	4,5	0,03	1,3	0,28		2,01	0,44		1,66	0,36	
5. Textura	2	0	1,5	0,75		1,5	0,75		1,5	0,75	
Indicadores Químicos											
1. pH	7	3	3,57	0,14		4,33	0,33		4,42	0,36	
2. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (meq/100g)	22	6	20,45	0,90		10,75	0,30		8,78	0,17	
3. Saturación de bases (%)	70	3	6,5	0,05		26	0,34		35,5	0,49	
4. Bases intercambiables (meq/100g)	8	0,1	1,32	0,15		2,79	0,34		2,75	0,34	
5. Salinidad (Conductividad Eléctrica (dS/m))	16	0	0,17		0,99	0,08		1,00	0,07		1,00
Indicadores Biológicos											
1. Materia orgánica (%)	20	5	29,04	1,60		11,07	0,40		7,51	0,17	
2. Relación C/N	51	10	50,01	0,98		19,66	0,24		19,57	0,23	
3. Dinámica microbial (gr CO2)	1	0	0,0037	0,0037		0,0031	0,0031		0,0037	0,0037	
ICS				0,61			0,45			0,43	

El indicador Profundidad efectiva es mayor en el bosque teniendo en cuenta que existen mayor cantidad de árboles, arbustos y herbáceos, además de gran cantidad de material vegetal en descomposición, diferente a la sabana y el eucalipto. Para el indicador retención de humedad es mayor en la cobertura del bosque siendo una zona bastante húmeda con capacidad productora de nacimientos y corrientes de agua, diferente a la plantación de eucaliptos que se encuentra en una zona inclinada o por ende el agua fácilmente corre y llega a la zona de sabana que por su condición textural y daño en la estructura retiene grandes cantidades de agua en algunas zonas. En términos generales todos los suelos de las tres coberturas tienen buena estabilidad de agregados y buena textura. La conductividad hidráulica se presenta de moderada a moderadamente rápida, situación buena para el movimiento del agua en el suelo.

De acuerdo a los indicadores químicos, para las tres coberturas, el pH es extremadamente ácido, situación que dificulta el intercambio y la saturación de bases siendo los valores más bajos de calidad en la zona de bosque y el mayor valor de calidad en la zona de sabana por el aporte de nutrientes mediante la orina de los animales. En las tres coberturas no se presentan problemas de salinidad teniendo valores bajos en los reportes de calidad del suelo.

Para los indicadores biológicos, se encuentra la materia orgánica, la relación C/N y la dinámica microbiana, teniendo valores altos de calidad la cobertura bosque en relación a las demás, con buena cantidad de materia orgánica y mayor respiración del suelo.

En términos generales, la cobertura del suelo del bosque tiene un Indicador de calidad del suelo (ICS) de 0,61 que pertenece a la clase 2 considerada como alta calidad, y las coberturas sabana y eucalipto se encuentran en la clase 3 considerada como moderada calidad, esto representa que los usos y manejos que se le den al suelo influyen de forma positiva o negativa para que mejoren o se deteriore la calidad del suelo.

3.3 Mapas de variabilidad espacial

3.3.1 Profundidad Efectiva

La profundidad efectiva es una de las propiedades más favorecida por el ciclaje de materiales orgánicos especialmente en la zona de bosque por la mayor capacidad en el crecimiento de sus raíces con un entorno de árboles de porte alto y el gran aporte de material vegetal (descompuesto y/o en proceso de descomposición). En la plantación de eucaliptos se observa que los árboles de mayor edad contribuyen a la mayor profundidad efectiva, mientras que en la zona de sabana se evidencia compactación causada por los animales siendo profundidad máxima del suelo 30 cm (Figura 7).

3.3.3 Conductividad Eléctrica

Los mapas de variabilidad de la CE del suelo en las coberturas vegetales ratifican la no afectación de los suelos por este concepto, es decir el tipo de cobertura vegetal no influye en la presencia de sales en los suelos, esto se debe más a prácticas de fertilización de los cultivos (Figura 8).

3.3.4 Humedad del suelo

Los suelos en las tres coberturas vegetales tienen buenas condiciones de humedad que oscila entre 10 y 80%. En el bosque se evidencian nacimientos de agua y algunos drenajes, es un área muy húmeda y con un microclima muy fresco; a su vez, en la plantación de eucaliptos se observa que las partes más húmedas son las bajas con valores alrededor del 70%, en esta zona existe un guadual que contribuye en mantener la humedad. Las zonas con menor humedad son las partes altas (8%), en donde se evacua el agua por escorrentía hacia la parte baja; en la zona de sabana se mantiene la humedad entre 40 y 80% favorecido por topografía baja y la decantación de los escurrimientos (Figura 9).

3.3.5 Resistencia del suelo a la penetración

En la zona del bosque hay presencia de rocas que dificultan la penetración y en las áreas de menor resistencia se evidenció mayor humedad del suelo, por lo que se infiere que la humedad es inversamente proporcional a la resistencia del suelo a la penetración, así como lo afirma Vepraskas 1984, citado por Ruiz *et al*, 2010 (Figura 10).

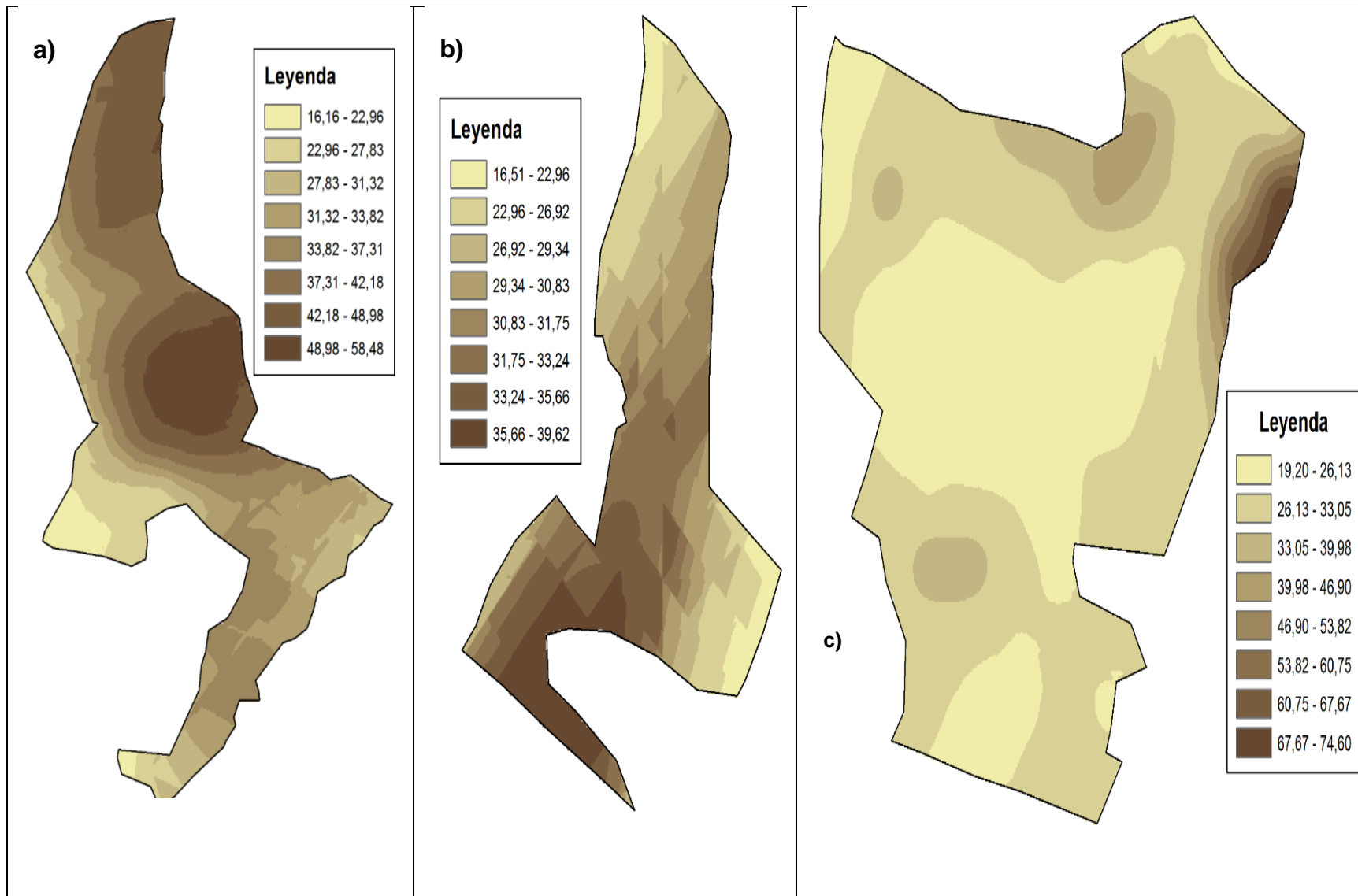


Figura 7. Variabilidad espacial de la profundidad efectiva del suelo (cm) a) Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana

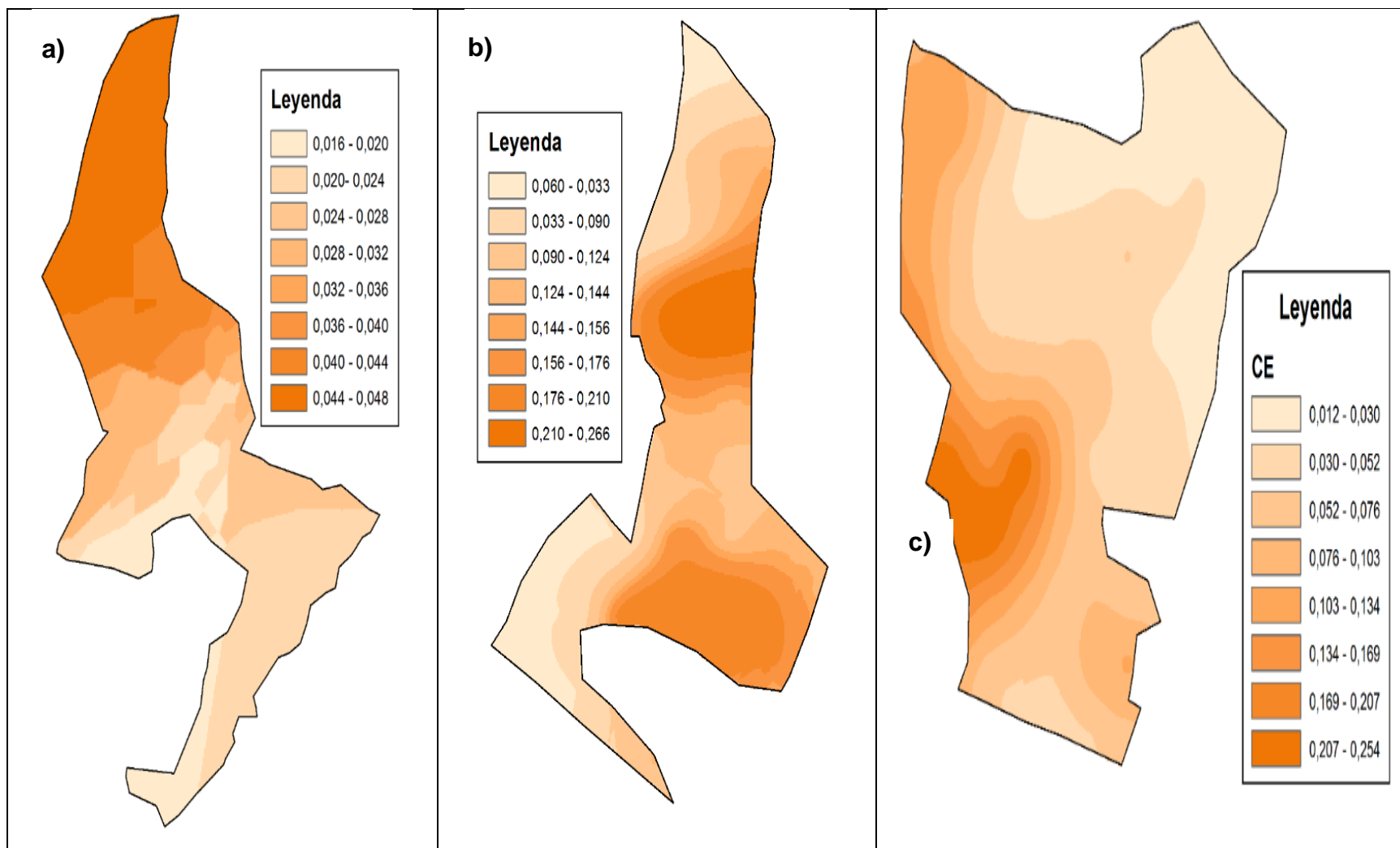


Figura 8. Variabilidad espacial de la conductividad eléctrica del suelo (dS/m) a) Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana

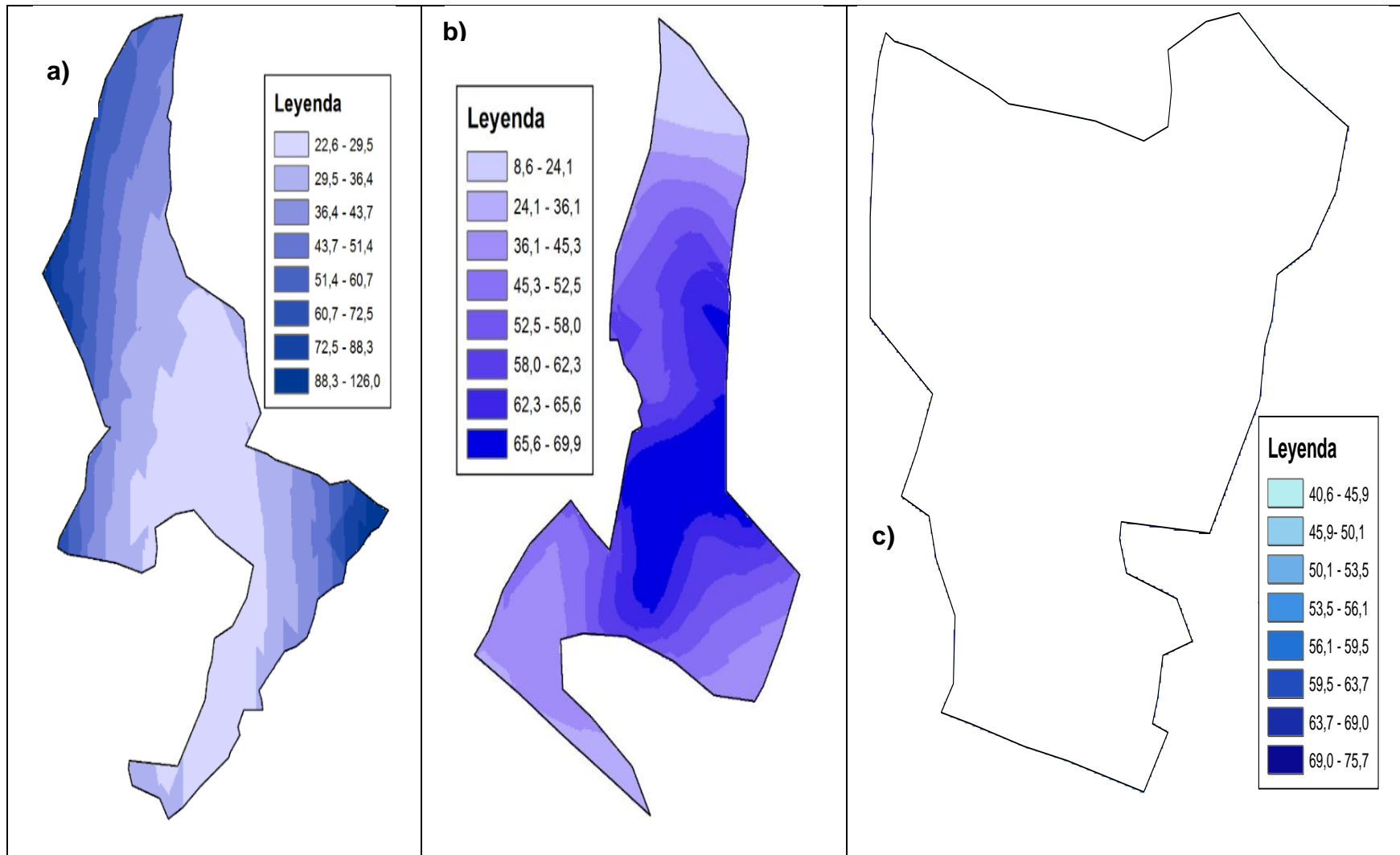


Figura 9. Variabilidad espacial de la humedad del suelo (%) a) Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana

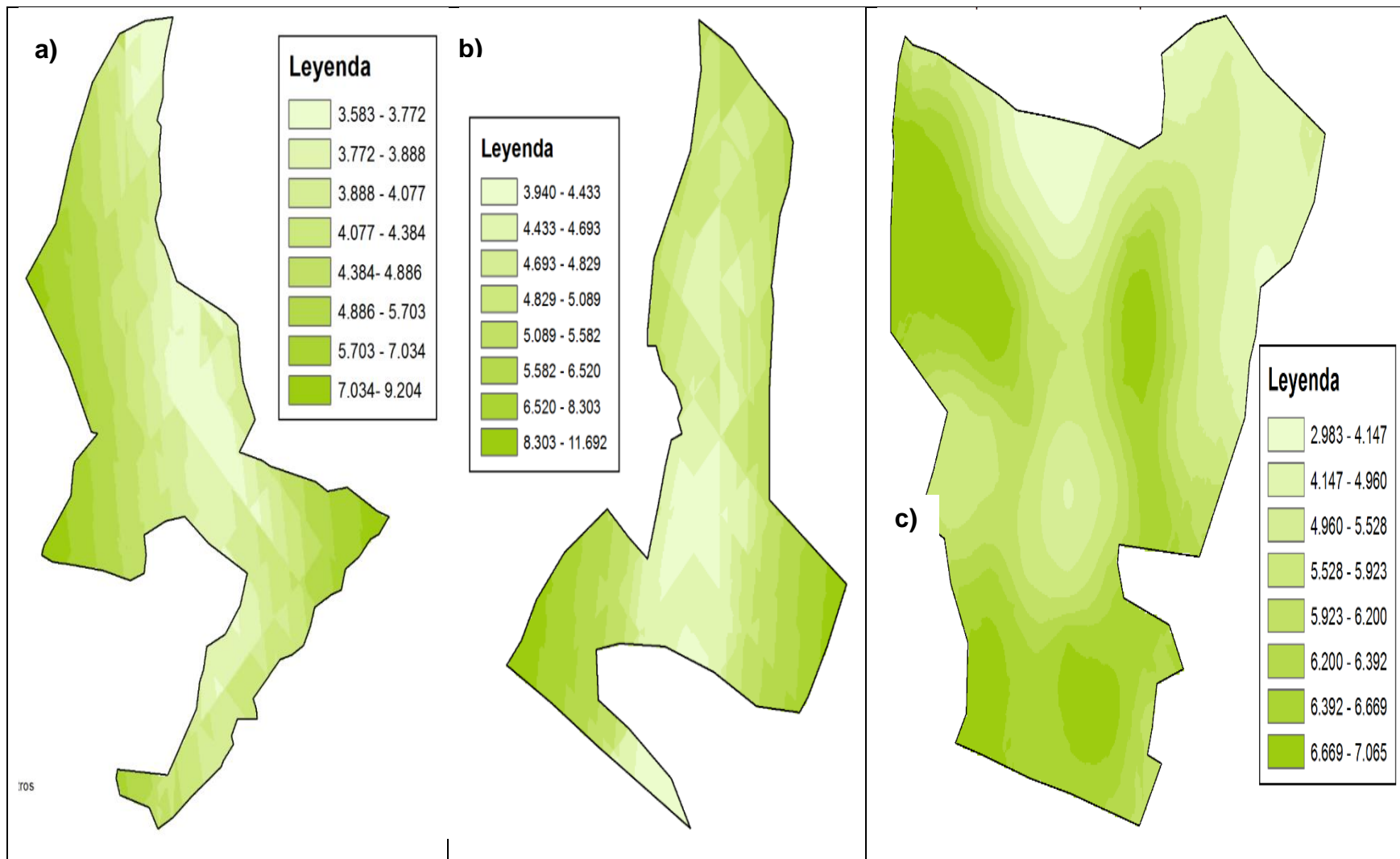


Figura 10. Variabilidad espacial a la resistencia del suelo a la penetración (Kpa). Bosque Natural, b) Eucaliptos y c) Sabana

3.4 Estadística descriptiva

3.4.1 Coeficiente de variación (CV).

Las variables homogéneas son aquellas con coeficiente de variación (CV) menor al 20%, las variables moderadamente heterogéneas tienen CV entre el 20 y 40%, las variables heterogéneas presentan CV entre 40 y 60%, mientras que las extremadas heterogéneas tienen CV > 60% (Tabla 5, anexo D).

Tabla 5. Propiedades de los suelos según el coeficiente de variación

CV	Bosque	Eucalipto	Sabana
< 20%	Densidad aparente	Densidad aparente	Densidad aparente
	Estabilidad de agregados	Estabilidad de agregados	Estabilidad de agregados
	Retención humedad 0.3bar	Retención humedad 0.3bar	Retención humedad 0.3, 15 bar
	Arena, Limo, Arcilla	Retención humedad 15 bar	Arena, Limo, Arcilla
	pH	pH	pH
	Nitrógeno Total	Nitrógeno Total	Nitrógeno Total
	Carbono Orgánico	Carbono Orgánico	Carbono Orgánico
			Conductividad Eléctrica
			Potasio, calcio, sodio
	Dinámica microbial	Dinámica microbial	Dinámica microbial
	Materia orgánica	Materia orgánica	Materia orgánica
Relación C/N	Relación C/N	Relación C/N	
20-40%	Retención humedad 15 bar	Arena, Limo	
	Sodio	Sodio	Magnesio
	Conductividad eléctrica	Potasio	
40-60%	Potasio	Conductividad eléctrica	
		Calcio, Magnesio	
> 60%	Calcio	Arcilla	
	Magnesio		

3.4 Estadística no paramétrica

3.5.1 Análisis de la varianza

El análisis de la varianza permitió cuantificar estadísticamente el efecto del uso del suelo sobre los indicadores de calidad y las variables edáficas estudiadas. En el Anexo E, se resumen los resultados del análisis de varianza de una vía y el test de rango múltiple, empleando el uso del suelo como variable de clasificación y como variables de respuesta, se incluyeron en las propiedades físicas, variables como: densidad aparente, % arena, % arcilla, % limo, índice de estabilidad de agregados y retención de humedad a los 0.3 y 15 bares; en las propiedades químicas, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, carbono orgánico, potasio, calcio, magnesio

y sodio; y en las propiedades biológicas, la materia orgánica, la dinámica microbial y la relación carbono/nitrógeno. Se denotaron las diferencias estadísticas significativas con la abreviatura (DES).

3.5.1.1 Análisis de la varianza para las propiedades físicas del suelo

Densidad Aparente:

De acuerdo al análisis de varianza de una vía de la variable Densidad Aparente, el valor-P (0,0) de la prueba-F, es menor que 0,05, por lo tanto, existe una DES entre la media de Densidad Aparente entre un nivel de uso del suelo y otro. Se realizó el test de rango múltiple por el método de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher; en esta variable se identificaron 2 grupos homogéneos, que no tienen DES, que son la cobertura vegetal de Eucaliptos y la de sabana, lo cual, se ve reflejado en el contraste de usos, que los pares: Bosque Natural – Eucaliptos y Bosque Natural – Sabana, presentan DES con un nivel del 95% de confianza (Anexo E).

Índice de Estabilidad de Agregados:

La razón-F, que en este caso es igual a 9,9891, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,0123) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una DES entre la media de Índice de Estabilidad de agregados, entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Para conocer cuáles medias son significativamente diferentes, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos, el cual arrojó 2 grupos homogéneos (Bosque Natural – Sabana y Bosque Natural – Eucalipto), sin DES entre ellos; el grupo Eucalipto – Sabana si presenta diferencias.

% Arena:

De acuerdo al análisis de varianza de una vía de la variable % Arena, el valor-P (0,3456) de la prueba-F, es mayor que 0,05, por lo tanto, no existe una DES entre la media de Densidad Aparente entre un nivel de uso del suelo y otro. Se realizó el test de rango múltiple, corroborando la información anterior con un grupo homogéneo (Bosque Natural – Sabana – Eucalipto), sin presentar DES entre ellos.

% Limo:

Para la variable % Limo, La razón-F, que en este caso es igual a 0,400196, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos; el valor-P (0,6868) de la razón-F es mayor o igual que 0,05, por lo tanto, no existe una DES entre la media de % Limo entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Se realizó el test de rango múltiple, corroborando la información anterior, con un grupo homogéneo (Bosque Natural – Sabana – Eucalipto), sin presentar DES entre ellos.

%Arcilla:

La razón-F, que en este caso es igual a 2,40433, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,1711) de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una DES entre la media de % Arcilla

entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, para tal caso, se identificó un grupo homogéneo sin presentar DES entre ellos.

Retención de Humedad a 0.3 bares:

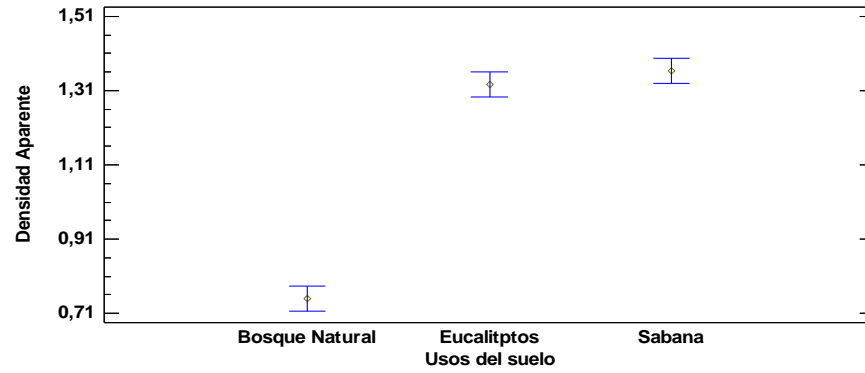
La razón-F, que en este caso es igual a 10,1589, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P (0,0118) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una DES entre la media de Ret Humedad 0.3 Bar entre un nivel de uso del suelo y otro; se realizó la prueba de múltiples rangos, en esta variable se identificaron 2 grupos homogéneos en donde no existen DES, que son la cobertura vegetal de Eucaliptos y la de sabana, lo cual, se ve reflejado en el contraste de usos, que los pares: Bosque Natural – Eucaliptos y Bosque Natural – Sabana, DES con un nivel del 95% de confianza (Anexo E).

Retención de Humedad a 15 bares:

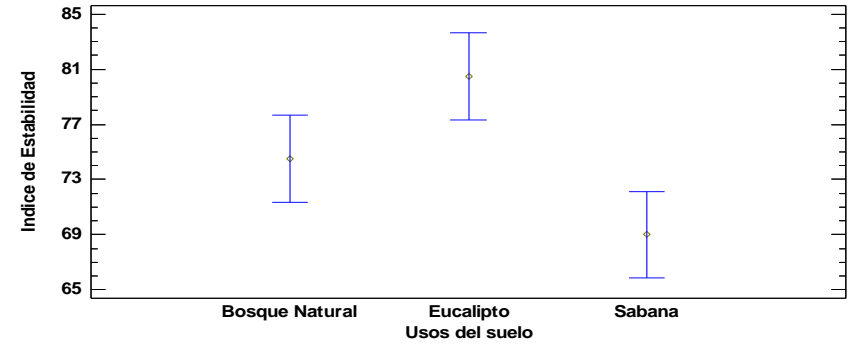
La razón-F, que en este caso es igual a 3,97827, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,0795) de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe DES entre la media de Retención Humedad 15 bares, entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Por lo tanto, para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó las pruebas de rango múltiple, dando como resultados 2 grupos homogéneos (Sabana – Eucaliptos y Bosque Natural – Sabana), sin DES; y por último, el grupo Bosque Natural – Eucalipto con DES.

La Figura 11 resume de forma gráfica el test de rango múltiple para cada una de las variables físicas del suelo estudiadas. En estos diagramas se representa la media y los intervalos de confianza de la estimación al 95% para cada uso de suelo: Bosque Natural, Eucaliptos y Sabana.

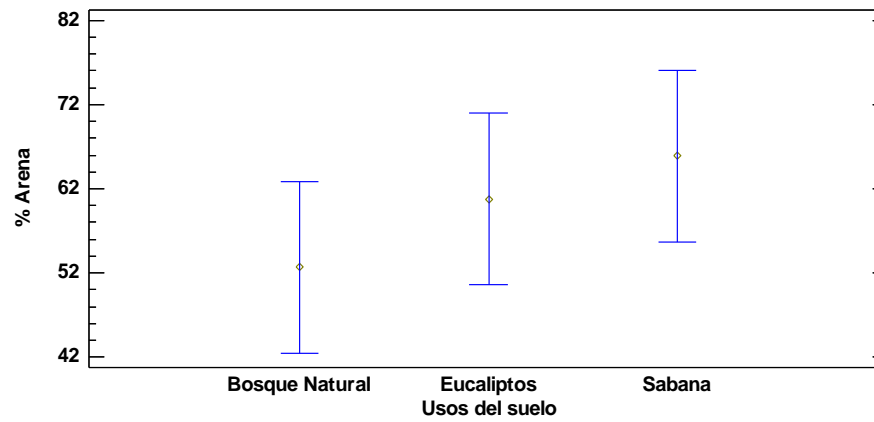
Medias y 95,0% de Fisher LSD



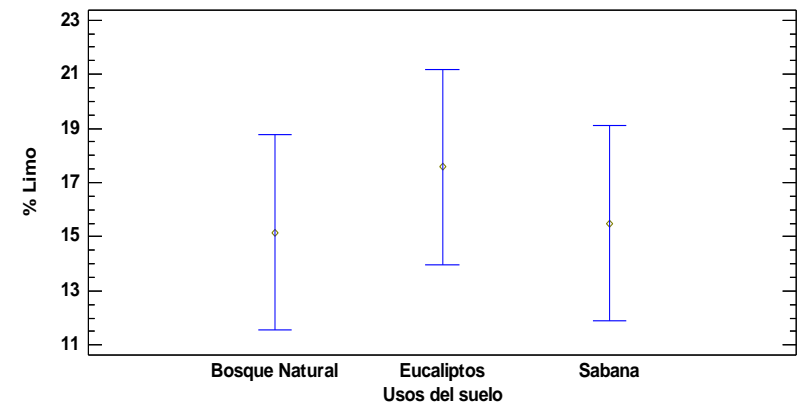
Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD



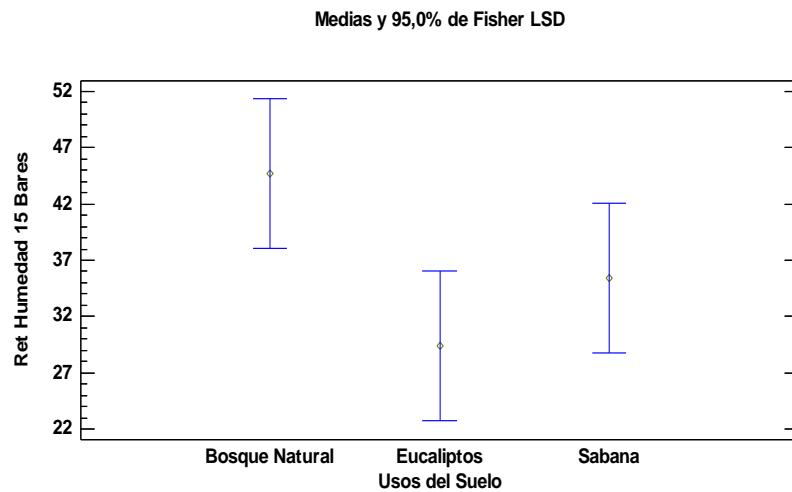
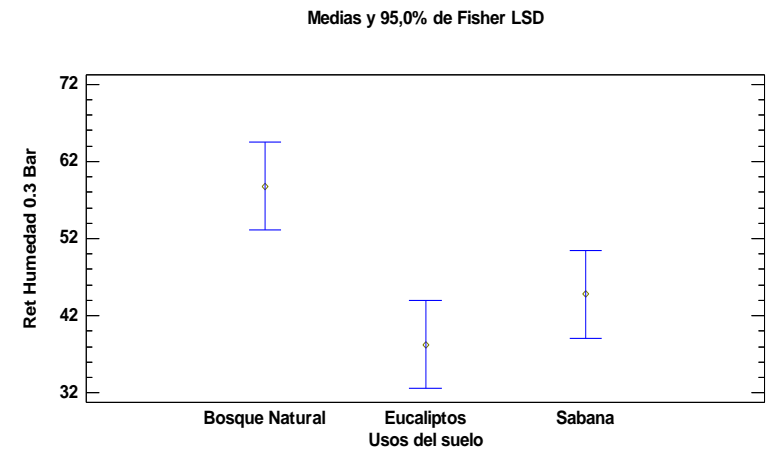
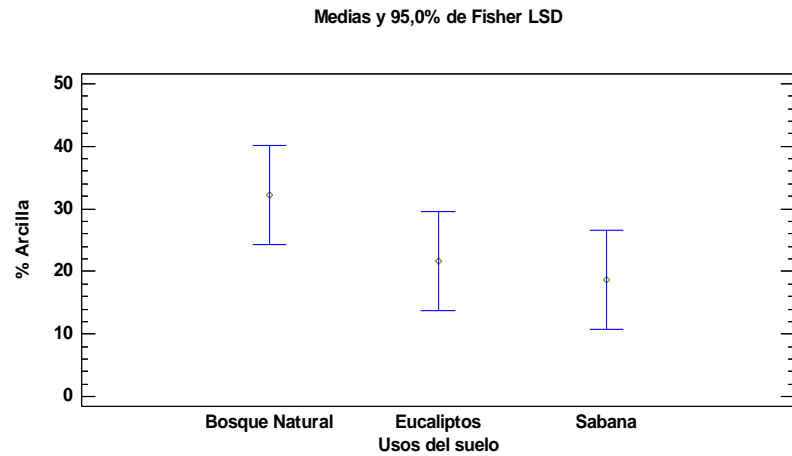


Figura 11. Media e intervalos de confianza del Test de Bonferroni al 95%, de cada propiedad física del suelo en cada una de las coberturas vegetales.

3.5.1.2 Análisis de la varianza para las propiedades químicas del suelo

pH:

La razón-F, que en este caso es igual a 24,03, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,0014) de la prueba-F es menor que 0,05, existe diferencia estadística significativa entre la media de pH entre un nivel de usos del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza; se realizó las Pruebas de Múltiples Rangos, donde se identificaron 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en la columna, siendo estos, la sabana y los eucaliptos, los cuales, no tienen DES; y según el contraste de usos, los pares Bosque Natural- Eucaliptos y Bosque Natural – Sabana tienen DES entre ellos.

Conductividad Eléctrica (CE):

Para la Conductividad Eléctrica, el análisis de la varianza resulto:

La Razón-F, igual a 7,46754, el valor-P, igual a 0,0235 siendo este valor menor que 0,05, existe una DES entre la media de CE de un uso de suelo y el otro. En la prueba de múltiples rangos, se hallaron dos grupos homogéneos (Eucaliptos y sabana), por lo tanto, no tienen DES entre ellos. Y en la comparación de usos de suelo, los pares Bosque Natural – Eucalipto y Bosque Natural – Sabana presentan DES, con un nivel del 95% de confianza.

Nitrógeno Total:

El análisis de la varianza de Nitrógeno Total, da como resultado la razón-F, que en este caso es igual a 39,3704, que es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos; de acuerdo con esto, el valor-P (0,0004) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una DES entre la media de Nt entre un nivel de Usos del Suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Se identificaron 2 grupos homogéneos sin DES, los cuales son Sabana y Bosque Natural; luego se realizó la comparación entre usos del suelo teniendo DES, los pares de usos del suelo: Bosque Natural – Eucalipto y Eucalipto – Sabana.

Potasio:

La razón-F, que en este caso, es igual a 0,289655, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,7584) de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una DES entre la media de Potasio entre un nivel de usos del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. El método empleado para discriminar entre las medias es el de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, para tal caso, se identificó un grupo homogéneo (Bosque Natural – Sabana – Eucaliptos), sin presentar DES entre ellos.

Carbono Orgánico:

Se realizó el análisis de varianza de una vía y dio como resultado, que el valor-P de la prueba-F es igual a 0, por lo tanto es menor que 0,05, esto nos indica que existe una DES entre la media de Carbono Orgánico entre un nivel de uso del suelo y otro. En el test de rangos múltiples se encontró que los suelos con coberturas de Eucaliptos y sabana, no tienen DES; luego se hizo el contraste de usos, y los pares

Bosque Natural – Eucaliptos y Bosque Natural – Sabana, muestran DES con un nivel del 95% de confianza.

Calcio:

La razón-F, que en este caso es igual a 3,94788, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una DES entre la media de Calcio entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Por lo tanto, no es necesario el test de rangos múltiples.

Magnesio:

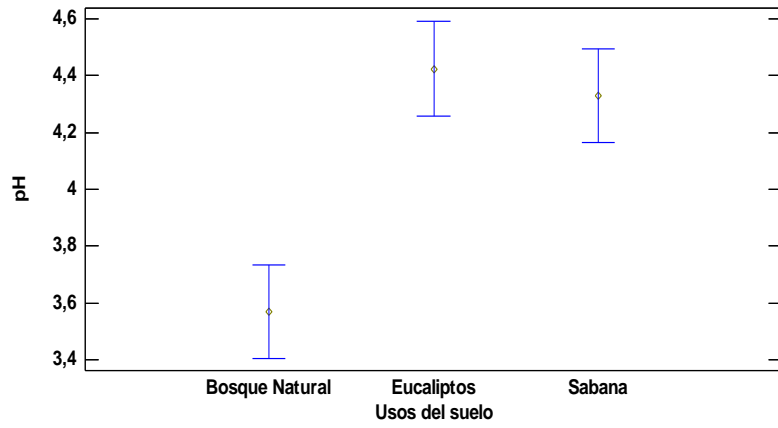
La ANOVA muestra que el valor-P (0,2734) de la razón-F, es mayor o igual que 0,05, por lo tanto, no existe una DES entre la media de Magnesio entre un uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Por lo tanto, no es necesario el test de rangos múltiples.

Sodio:

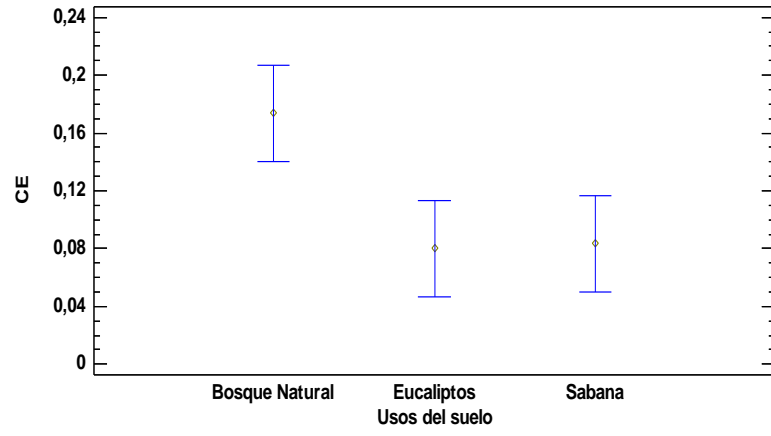
La ANOVA descompone la varianza de Sodio en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1,59783, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,2778) de la razón-F, es mayor o igual que 0,05, no existe una DES entre la media de Sodio entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Por lo tanto, no es necesario el test de rangos múltiple.

La Figura 12 resume de forma gráfica el test de rango múltiple para cada una de las variables físicas del suelo estudiadas. En estos diagramas se representa la media y los intervalos de confianza de la estimación al 95% para cada uso de suelo: Bosque Natural, Eucaliptos y Sabana.

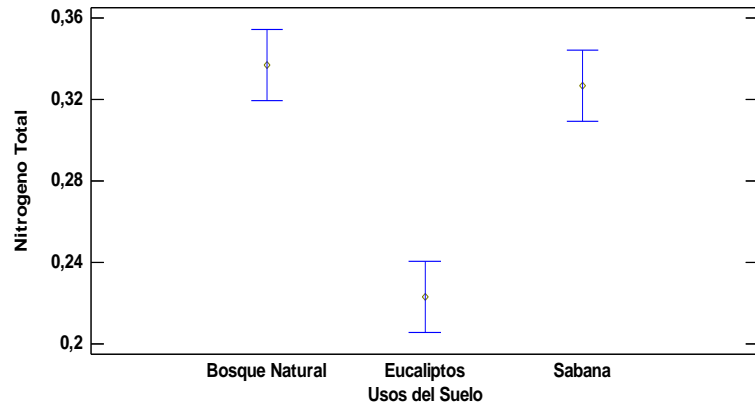
Medias y 95,0% de Fisher LSD



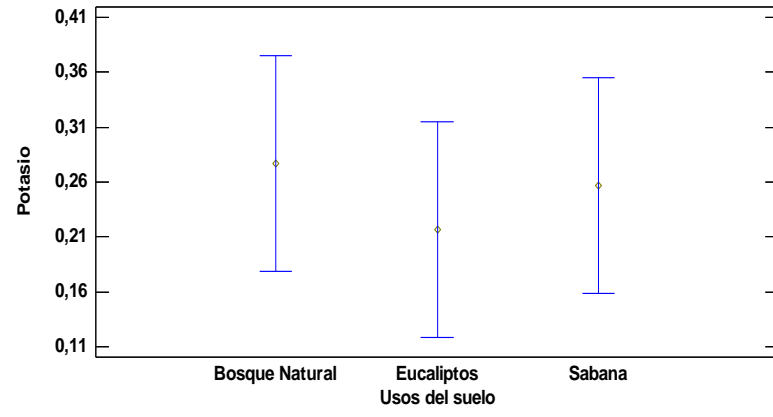
Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD



Medias y 95,0% de Fisher LSD



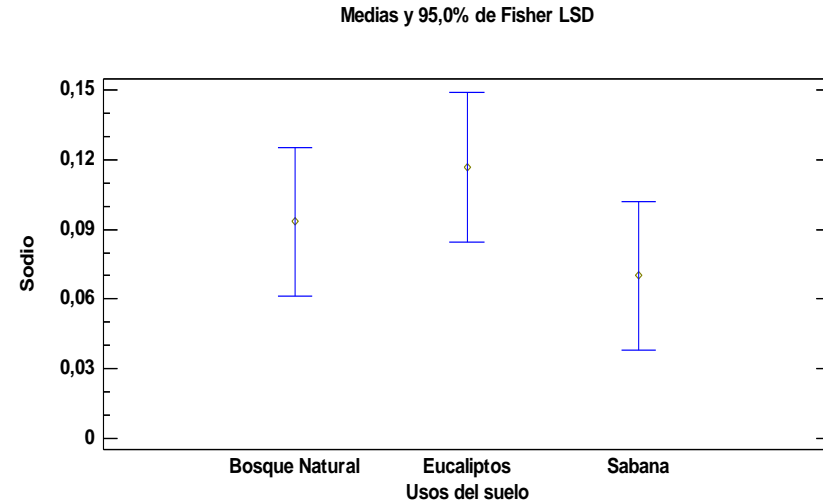
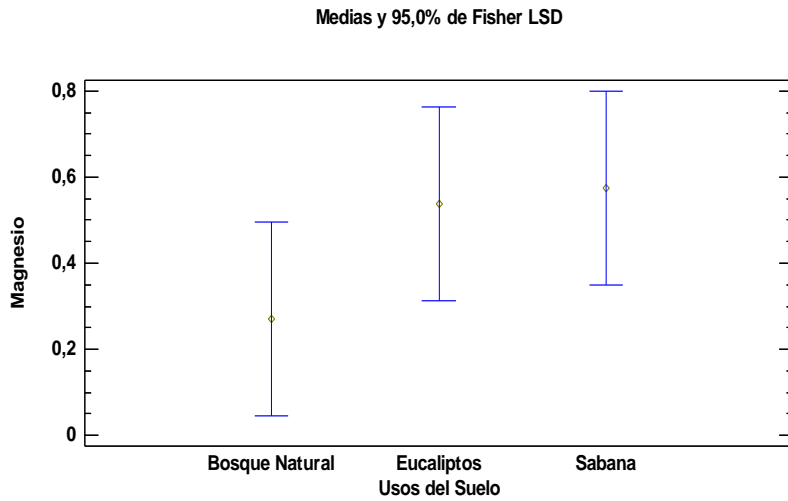
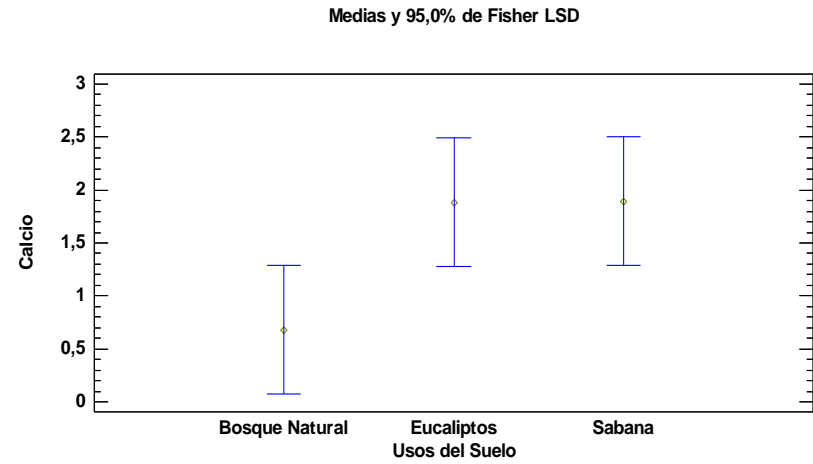
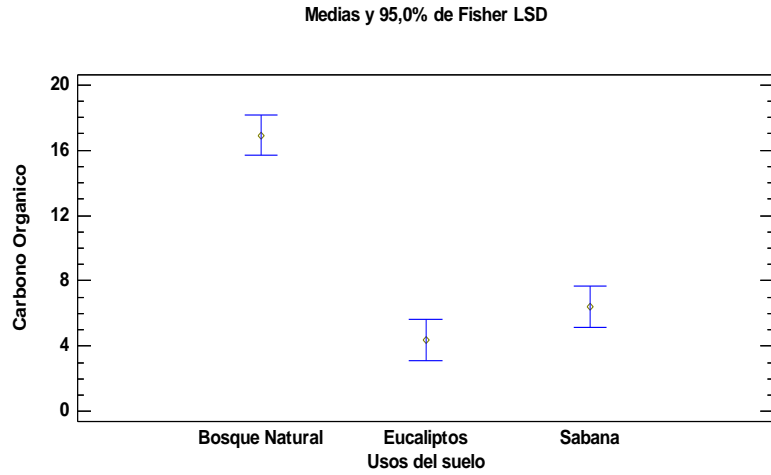


Figura 12. Media e intervalos de confianza del Test de Bonferroni al 95%, de cada propiedad Química del suelo en cada una de las coberturas vegetales.

3.5.1.3 Análisis de la varianza para las propiedades biológicas del suelo

Materia Orgánica:

La razón-F, que en este caso es igual a 85,0915, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,0000) de la prueba-F es menor que 0,05, existe una DES entre la media de Materia Orgánica entre un nivel de usos del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. Se realizó la prueba de múltiple rangos identificando 2 grupos homogéneos (Eucaliptos y Sabana), sin presentar DES; luego se aplicó el procedimiento de comparación múltiple dando como resultado que los pares Bosque Natural – Eucalipto y Bosque Natural – Sabana, muestran DES.

Relación C/N:

La razón-F, que en este caso es igual a 63,5182, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P (0,0001) de la razón-F, es menor que 0,05, existe una DES entre la media de Relación C/N entre un nivel de uso del suelo y otro, con un nivel del 95% de confianza. El método de Fisher arrojó los siguientes resultados: 2 grupos homogéneos sin DES entre ellos, los cuales son Eucaliptos y sabana; y los pares de usos del suelo que tienen DES son Bosque Natural – Eucaliptos y Bosque Natural – Sabana.

Dinámica microbial:

Se realizó el análisis de varianza de una vía y dio como resultado, que el valor-P de la prueba-F es igual a 0,0368, por lo tanto es menor que 0,05, esto indica que existe una DES entre la media de Dinámica microbial entre un nivel de Usos del suelo y otro. De acuerdo a esto, se realizó el test de rangos múltiples para identificar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, encontrándose que los suelos con coberturas de Eucaliptos y Bosque Natural, no tienen DES; luego se hizo el contraste de usos, y los pares Bosque Natural – Sabana y Eucaliptos – Sabana, muestran DES con un nivel del 95% de confianza.

La Figura 13 resume de forma gráfica el test de rango múltiple para cada una de las variables físicas del suelo estudiadas. En estos diagramas se representa la media y los intervalos de confianza de la estimación al 95% para cada uso de suelo: Bosque Natural, Eucaliptos y Sabana.

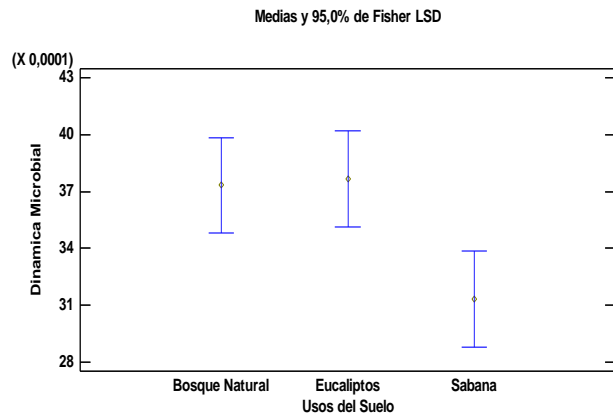
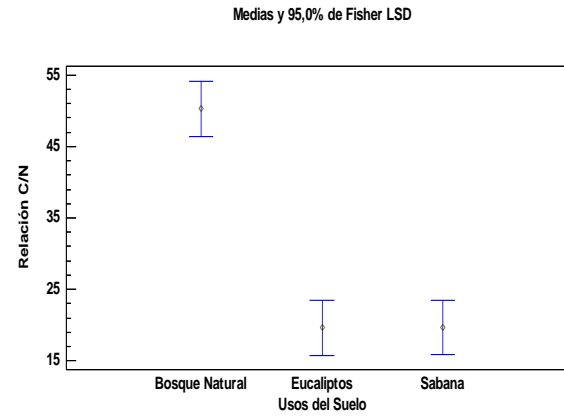
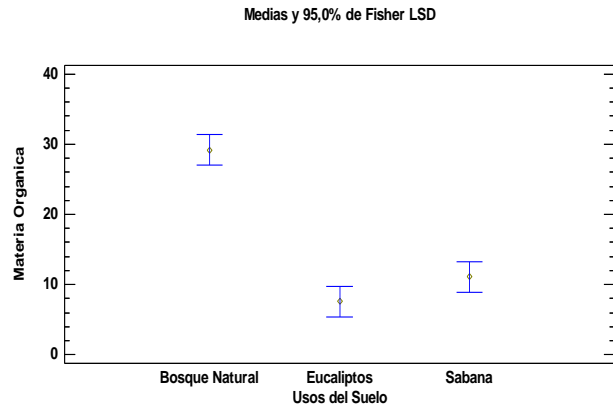


Figura 13. Media e intervalos de confianza del Test de Bonferroni al 95%, de cada propiedad biológica del suelo en cada una de las coberturas vegetales.

3.5.2 Matriz de coeficientes de correlación de Spearman

En la tabla 6, se recopilan los resultados obtenidos para el análisis de correlación de Spearman entre las variables edáficas. En primer lugar, se aprecia la existencia de un gran número de correlaciones significativas entre las variables. Los pares de variables que presentan asociación positiva igual a 1 son las siguientes: Retención de humedad a 0.3 bares – Retención de Humedad a 15 Bares, Carbono Orgánico – Materia Orgánica, son correlaciones perfectas; para estas variables, los P son menores a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde se evidencia la asociación entre estos pares de variables.

Las variables que tienen correlación con valores de 0,9 son buenas, se encuentran las siguientes variables: retención de humedad a 15 bares, retención de humedad a 0.3 bares con la materia orgánica y el carbono orgánico; los que tienen valores alrededor del 0,8 son la conductividad eléctrica con la retención de humedad a 0.3 bares, la retención de humedad a 15 bares, el % de arcilla, el carbono orgánico, la materia orgánica y la relación Carbono/ Nitrógeno; el pH con el magnesio y el calcio; el aluminio con % Arcilla; el nitrógeno con el carbono orgánico y la materia Orgánica; y finalmente el potasio con el magnesio, la asociatividad de estos parámetros es directamente proporcional.

Los valores en el rango de 0,01 a 0,06, con correlación positiva pero baja; fueron los siguientes: el % Arcilla con % Limo y el potasio; % Arena con el Magnesio y la relación carbono / Nitrógeno con el potasio y el sodio. Las variables con correlaciones con valores en el rango de 0,1 a 0,15; fueron las siguientes: el índice de estabilidad de agregados con el aluminio, el % Arcilla y la relación Carbono / Nitrógeno; el sodio con % Limo, pH, la conductividad eléctrica y el aluminio; la conductividad eléctrica con % Limo y la dinámica microbial; el % arena con el pH y por último, el % limo con el aluminio. Estos datos tienen una correlación positiva pero baja, es decir tienen una relación directamente proporcional, pero la incidencia de uno sobre el otro es muy poca.

En el rango de -1 a -0,9, no hay ninguna variable que tenga correlación con estos valores; se empieza a obtener datos de correlación con valores de -0,8 encontrándose relacionadas las siguientes variables densidad aparente con la relación carbono/nitrógeno; % Arena con % Arcilla y por último, calcio con el aluminio; para este caso, los P – valor que se encuentran con estas variables son 0,0184 y 0,0148, indican que son menores a 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde se evidencia la asociación entre estos pares de variables con una relación inversa dado que el signo es negativo.

Los pares de variables % limo se correlacionan con las variables índice de estabilidad de agregados, dinámica microbial, retención de humedad a los 0,3 y 15 bares de presión; el sodio con el calcio, con la dinámica microbial y con la retención

de humedad a 0,3 y 15 bares; y, la conductividad eléctrica con el magnesio, para el rango de valores de -0,01 a -0,06. En el rango de -0,1 a -0,15, los pares de variables que se correlacionan son las siguientes índice de estabilidad de agregados con calcio, conductividad eléctrica y pH; dinámica microbial con nitrógeno, carbono orgánico y materia orgánica; sodio con densidad aparente, carbono orgánico y materia orgánica; esto indica que la correlación es baja y la relación es inversa (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de Correlación Spearman

	Da	Ind Estab Agreg	% Arena	% Limo	% Arcilla	Ret Humedad 0,3 Bar	Ret Humedad 15 Bares	pH	CE	N	K	CO	Ca	Mg	Na	Al	MO	Dinámica Microbial	C/N
Da	1																		
Ind Estab Agregados	-0,3908	1																	
% Arena	0,477	-0,2176	1																
% Limo	0,3361	-0,0336	-0,5356	1															
% Arcilla	-0,728	0,1255	-0,8333	0,0418	1														
Ret Humed 0,3 Bar	-0,4496	-0,3782	-0,3515	-0,067	0,6611	1													
Ret Humed 15 Bar	-0,4496	-0,3782	-0,3515	-0,067	0,6611	1	1												
pH	0,7269	-0,1092	0,1506	0,3655	-0,477	-0,5546	-0,5546	1											
CE	-0,6276	-0,159	-0,7	0,1339	0,8333	0,8285	0,8285	-0,377	1										
N	-0,3248	-0,6411	-0,2043	-0,316	0,5703	0,7779	0,7779	-0,346	0,681	1									
K	0,3235	-0,2227	-0,1757	0,3529	0,0502	0,2563	0,2563	0,4916	0,3682	0,1795	1								
CO	-0,5439	-0,4686	-0,3	-0,193	0,6167	0,9038	0,9038	-0,569	0,85	0,8768	0,1925	1							
Ca	0,569	-0,1088	0,2333	0,3766	-0,5833	-0,5105	-0,5105	0,8703	-0,3	-0,4171	0,3933	-0,45	1						
Mg	0,6076	-0,2658	0,0168	0,4346	-0,3109	-0,2321	-0,2321	0,8439	-0,0168	-0,0816	0,8144	-0,1765	0,7731	1					
Na	-0,1271	0,6314	-0,3038	0,1186	0,2363	-0,0636	-0,0636	0,1229	0,1519	-0,25	0,4704	-0,1435	-0,0253	0,3021	1				
Al	-0,5941	0,1004	-0,6833	0,1339	0,8	0,5858	0,5858	-0,745	0,5833	0,3916	-0,1925	0,5167	-0,8333	-0,5546	0,1182	1			
MO	-0,5439	-0,4686	-0,3	-0,193	0,6167	0,9038	0,9038	-0,569	0,85	0,8768	0,1925	1	-0,45	-0,1765	-0,144	0,5167	1		
Dinámica Microbial	-0,6723	0,5672	-0,5439	-0,013	0,4854	-0,1723	-0,1723	-0,286	0,159	-0,1581	-0,5756	-0,1004	-0,2343	-0,5063	-0,017	0,3682	-0,1004	1	
C/N	-0,8619	0,1255	-0,5333	-0,075	0,6667	0,5941	0,5941	-0,544	0,8333	0,4171	0,0502	0,7167	-0,2833	-0,2605	0,0675	0,4667	0,7167	0,4352	1

3.5.3 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales permitió diferenciar dos grupos definidos por diferentes descriptores de calidad (Figura 14; Tabla 7). En el primer grupo se encuentran las variables Materia Orgánica, carbono Orgánico, retención de humedad, arcilla, conductividad eléctrica y aluminio, elementos característicos de la cobertura vegetal Bosque Natural por contener valores altos de materia orgánica, arcilla, CE y a su vez de aluminio y altos contenidos de humedad. En el segundo grupo se aprecian las variables %Arena, Densidad Aparente, pH, Relación C/N, Calcio y Magnesio con valores altos en las coberturas de Eucaliptos y Sabana. Y las variables: Dinámica microbial e Índice de Estabilidad de Agregados son más representativas de la zona de Eucaliptos por lo tanto, se aprecia el cambio que ha generado la plantación dando estabilidad al suelo y aumentando la vida de microorganismos, en esta zona que se caracterizaba por procesos erosivos (Figura 15).

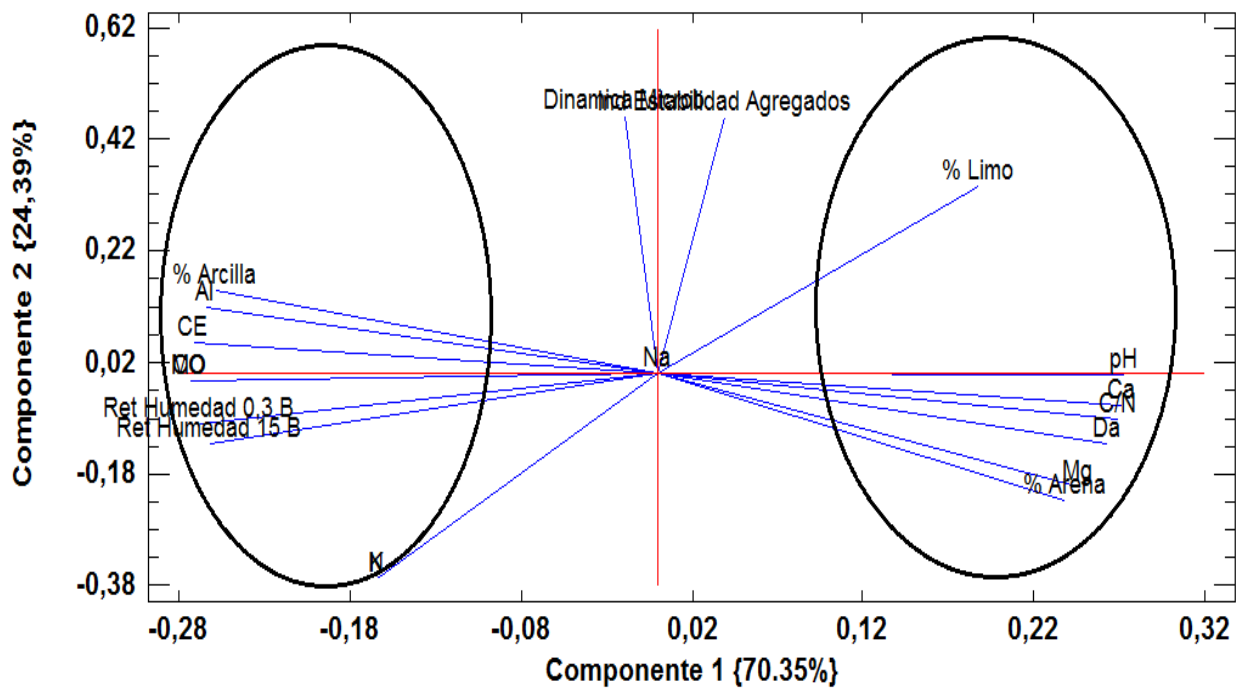


Figura 14. Representación en el plano obtenida mediante análisis de componentes principales

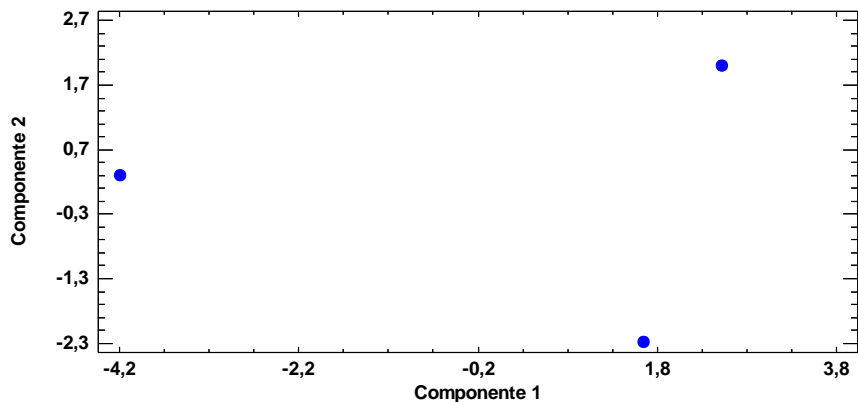


Figura 15. Diagrama de dispersión con respecto a los usos del suelo

Tabla 7. Análisis de componentes principales

Variables	Componente 1 (70,35%)	Componente 2 (24,39%)
Da	0,263183	-0,126525
Ind Estabilidad Agregados	0,0394572	0,459698
% Arena	0,238342	-0,227917
% Limo	0,188083	0,337296
% Arcilla	-0,25866	0,15105
Ret humedad 0,3 bar	-0,268298	-0,0903662
Ret humedad 15 bar	-0,262867	-0,128404
pH	0,27352	-0,00218469
CE	-0,271567	0,055458
N	-0,164061	-0,371712
K	-0,164061	-0,371712
CO	-0,273401	-0,0138538
Ca	0,271567	-0,055458
Mg	0,245918	-0,203378
Na	2,41E-17	2,44E-17
MO	-0,273384	-0,0148008
Dinámica Microbial	-0,019257	0,463404
C/N	0,269322	-0,0811019
Al	-0,264571	0,117874

3.5.4 Análisis Clúster (CA)

El análisis clúster se hizo con el método del vecino más cercano y la métrica de distancia euclídeana cuadrada, se elaboraron conglomerados con las variables; dando como resultado un dendrograma con 2 grupos que se identifican con los colores morado y rosado (Figura 16).

En el grupo de color rosado, las variables con los valores de distancia más cercanos son carbono orgánico, materia orgánica, relación C/N, retención de humedad a 0.3 y 15 bares, Aluminio, conductividad Eléctrica y entre, las variables más lejanas de este grupo se encuentran Potasio, Nitrógeno, dinámica microbial, sodio e índice de estabilidad de agregados. Esto explica la importancia que tienen los parámetros como la cantidad de agua y de materia orgánica que debe tener un suelo para mantener su calidad, así como lo afirma (Lal, 2004). En el caso del grupo de color morado, se encuentran entre las variables más cercanas, la Densidad Aparente, el pH, el calcio, el Magnesio y entre, las más lejanas se encuentran el % limo y el % arena. De acuerdo, con los resultados se corrobora lo que mencionan Salamanca & Khalajabadi, 2005 que “a medida que aumentan los contenidos de MO, mejora la retención de humedad del suelo y disminuyen los valores de resistencia a la penetración y de densidad”.

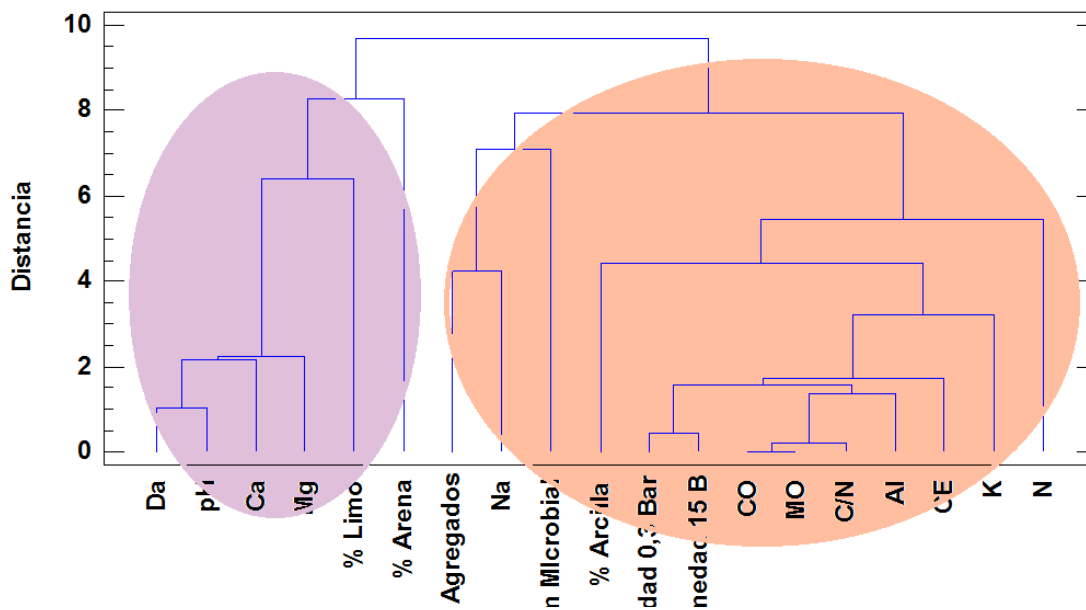


Figura 16. Diagrama de análisis clúster

3.6 Estrategias de manejo y sostenibilidad de los suelos

Dentro de los problemas encontrados en los suelos de las tres coberturas vegetales es la acidificación del suelo por la alta concentración de aluminio que a futuro puede

provocar toxicidad a las plantas, para corregir esto, es importante aplicar encalados con productos como cal agrícola, óxido de calcio, hidróxido de calcio, carbonato de magnesio o cal dolomita que para este caso sería mejor porque los niveles de calcio y magnesio se encuentran bajos y aportaría al suelo además de corregir la acidez.

Otro de los problemas es la humedad en algunas zonas, principalmente en la cobertura sabana porque se encuentra en la parte baja y allí llegan por escorrentía las aguas de la parte alta; para esto es importante conocer el recorrido de los drenajes naturales en tiempos lluviosos y construir canales para la evacuación del agua, estos pueden ir acompañados de otras obras de manejo y conservación de suelos, como trinchos en guadua para dar más estabilidad y disminuir la velocidad del agua, además hacer un cerramiento de esta zona y recolectar las aguas lluvias para aprovecharlas en las actividades agropecuarias de la finca.

En cuanto al suelo de la cobertura vegetal Bosque Natural, es importante mantener esta zona intacta porque proporciona nacimientos de agua y buenas cantidades de agua en el entorno, un microclima agradable, buenas propiedades físicas del suelo y bastante materia orgánica.

Con respecto al suelo de la cobertura vegetal Eucaliptos, a pesar, de que la plantación es relativamente joven, el resultado es un proceso bueno porque ha disminuido la erosión en esta zona, aumentado la profundidad efectiva gracias al enraizamiento de estas plantas, ha mejorado las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, está siendo utilizada esta zona, porque anteriormente por sus características de erosión moderada no se realizaba actividad alguna. En esta zona se recomienda incorporar abonos verdes, abonos orgánicos, aplicaciones de enmiendas y fertilizantes.

Por último, los suelos de la zona de sabana tienen problemas de compactación ligera, evidenciándose en los mapas de variabilidad espacial, donde es baja la profundidad efectiva, alta la humedad en el suelo por falta de la porosidad para el movimiento del agua y aire, y tiene más sitios con resistencia a la penetración. En esta zona es importante aplicar enmiendas, abono verde, abono orgánico, construir canales para la evacuación del agua acompañados con trinchos de guadua. Se recomienda realizar prácticas de manejo y conservación de suelos combinadas con silvopastoriles, como ganadería intensiva con sus respectivos potreros demarcados con barreras vivas con plantas leguminosas que sirvan para la alimentación de los animales y aporten nutrientes al suelo, además elaborar un banco de alimentos con pastos de corte para tener otra fuente alimenticia para el ganado, sembrar maíz y luego ensilarlo para el consumo de los animales.

4. CONCLUSIONES

Las propiedades físicas del suelo que son afectadas por los cambios en los usos son: la densidad aparente, la humedad, el índice de estabilidad de agregados; las propiedades químicas y biológicas afectadas son el carbono orgánico y la materia orgánica. Las propiedades que no se afectan son la textura, la dinámica microbial y la relación C/N, además, de la mayoría de propiedades químicas como son el Ca, Mg, N, K, Na, CE y pH. Esto indica, que las propiedades físicas y biológicas del suelo dependen del uso y tipo de cobertura vegetal, diferente a las propiedades químicas, que se relacionan más con la composición mineralógica del suelo y las prácticas de fertilización.

Las propiedades químicas del suelo en las tres coberturas (bosque, plantación de eucaliptos y sabana) se mantienen constantes de acuerdo a su composición mineralógica sin afectación a la salinidad del suelo, con acidez extrema por aluminio y deficiencias importantes de potasio, calcio y magnesio.

Los mapas de variabilidad espacial del suelo reflejan los cambios de las variables espaciales estudiadas en las coberturas vegetales, caracterizando la zona de bosque por la buena profundidad efectiva, condiciones adecuadas de humedad y baja resistencia del suelo a la penetración; a diferencia de los suelos de la sabana con baja profundidad efectiva, alta resistencia del suelo a la penetración y drenaje deficiente en áreas localizadas con problemas de compactación; en la plantación de eucaliptos se evidencia un proceso de recuperación en la profundidad efectiva y la retención de humedad del suelo.

Las variables densidad aparente, índice de estabilidad de agregados, retención de humedad a 0.3 bares, pH, nitrógeno, carbono orgánico, materia orgánica, dinámica microbial y la relación C/N, se distribuyen de manera relativamente homogénea en los suelos de las tres coberturas vegetales.

Las variables que tienen diferencia estadística significativa (DES) son la densidad aparente, índice estabilidad de agregados, retención de humedad a 0,3 bar, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, carbono orgánico y materia orgánica; y las variables que no tienen DES son la textura, la retención de humedad a 15 bares el potasio, el calcio, el magnesio y el sodio.

El análisis geoestadístico muestra que el suelo del Bosque tiene buenas condiciones de humedad y nivel de materia orgánica, características importantes para definir una buena calidad del suelo; el suelo con Eucalipto tiene características que están en proceso de recuperación, y el suelo de sabana presenta problemas de humedad y compactación.

El indicador de la calidad del suelo (ICS) para la cobertura del bosque es de 0,61 que pertenece a la clase 2 considerada como alta calidad, y las coberturas sabana y eucalipto se encuentran en la clase 3 considerada como moderada calidad, esto

representa que los usos y manejos que se le den al suelo influyen de forma positiva o negativa para que mejoren o se deteriore la calidad del suelo.

5. RECOMENDACIONES

Ejecutar las estrategias de manejo y sostenibilidad de los suelos, para que no se degraden y se conserven, sin importar el uso agropecuario.

Realizar nuevamente el estudio cuando la plantación de eucaliptos tenga una edad fenológica mayor para observar los cambios en la calidad del suelo con respecto a esta cobertura.

Investigar sobre temáticas enfocadas a la calidad de los suelos, porque permiten tomar medidas preventivas y correctivas a tiempo sin degradar los suelos.

BIBLIOGRAFIA

- Aguila, E., Marrero, Y., Hernandez, H., & Ruiz, Y. (2016). Efecto del uso del suelo sobre su calidad en áreas de la Finca «Baños de Marrero». *Centro Agrícola*, 43(2), 14-22. Recuperado a partir de <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Vásquez, J. R. (2018). Características edáficas y su relación con usos del suelo en Santa Marta , Colombia *, 14(1), 242-250.
- Bacigaluppo, S., Faggioli, V., Beltrán, C., Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., & Fernández, E. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en difeentes manejos. *Cl. Suelo (Argentina)*, 27(1), 103-114.
- Benites, J. (2015). *GUÍA DE CAMPO. EVALUACIÓN VISUAL DEL SUELO*.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria, 33(2), 117-124.
- Cairo, P., Reyes, A., Aro, F., Valentín, R., & Robledo, L. (2017). Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 127-134.
- Cantú, B., Bedano, S., & Parra, B. (2009). Evaluación del impacto del cambio de uso y manejo de la tierra mediante indicadores de calidad de suelo , Córdoba , Argentina Evaluation of the impact of land use and management change by means of soil quality indicators , Córdoba , Argentina, (January 2017).
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J., & Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Sl. Suelo (Argentina)*, 25(2), 173-178.
- Castro, J. (2015). Estrategias de sostenibilidad ambiental para contrarrestar efectos de erosión y degradación de suelos en la ecorregión Desierto de la Tatacoa.
- Florencia, P., Videla, C., Fernandez, M. E., Zamuner, E. C., & Laclau, P. (2018). Changes in Soil Chemical and Biochemical Properties Associated With Replacement of Natural Grasslands By Pinus Radiata D . Don and Agricultural Rotations, 34(2). <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000302>
- Gamarra, C., Díaz, M. I., Ortíz, M. V. de, Galeano, M. del P., & Cabrera, A. J. (2017). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo, 9(46), 4-26.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos : una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los

suelos: una nueva manera de evaluar este recurso Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

- Gómez, J. (2017). Agricultura hidrológica. En *Manejo sostenible y productivo del suelo* (pp. 155-158).
- Jamioy, D., Menjivar, J., & Rubiano, Y. (2015). Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Ciencia del Suelo*, 64(4), 302-307.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.38731>
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, 304(June), 1623-1627.
- Leyva, S. L., Baldoquín, A., & Reyes, M. (2017). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios , Las Tunas , Cuba Properties of soils in different agricultural uses , Las Tunas , Cuba, 34(1), 36-47.
- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y propiedades del suelo. *Suelo Nutricion Vegetal*, 8(1), 68-96.
- Rivera, J. (2017). La bioingeniería y su aplicación en la recuperación de suelos. En *Manejo sostenible y productivo del suelo* (pp. 45-61).
- Rojas, J., Mórtoles, N., Romaniuk, R., & Russo, E. (s. f.). BAJO AGRICULTURA EN SIEMBRA DIRECTA EN CHACO SUBHÚMEDO , PNSuelo 1134023 - Indicadores de calidad del suelo para el monitoreo de la sustentabilidad de sistemas productivos, 1-38.
- Ruiz, I. G., Ortiz, M. S., Díaz, M. L. V., Betancourt, Y., & Rosa, J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar Effect of the compaction on the physical properties of the soil and the growth of the sugarcane, 19(2), 51-56.
- Salamanca, A., & Khalajabadi, S. (2005). Use of Instructional Designs, Teaching Methods and Strategies by Professors in College of Agriculture and Life Sciences. *Journal of Agricultural Education and Human Resource Development*. <https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>
- Sánchez, J. (2017). Aptitud y uso de los suelos en Colombia. En *Manejo sostenible y productivo del suelo* (pp. 7-27).
- Sandoval, J., Suarez, C., & Montoya, J. (2017). Las quemaduras físicas y su efecto sobre la calidad del suelo. En *Manejo sostenible y productivo del suelo* (pp. 63-75).
- Silva, I., & Díaz, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo, 9(45), 122-151.
- Torrente, A. (2017). Arreglos productivos alternativos en áreas protegidas del departamento del Huila. En *Manejo sostenible y productivo del suelo* (pp. 29-44).

- Vargas, R. del P., & Serrato, F. (2014). Variabilidad espacial de las propiedades físicas de un Fluventic Ustropepts asociado a cultivos de caña, pasto y moringa en la cuenca baja del Río Las Ceibas -Huila.
- Vásquez, J. (2017). Innovación tecnológica en el estudio de las condiciones del suelo. En *Manejo sostenible y productivo del suelo* (pp. 191-203).
- Vásquez, J. R., Macías, F., & Menjivar, J. C. (2013). Respiración del suelo según su uso y su relación con algunas formas de carbono en el Departamento del Magdalena, Colombia., *25*(3), 175-180.
- Vázquez, J. ., Reposo, G., Guecaimburú, J. ., ROJO, V., Giacobone, C., & Martínez, M. (2012). Uso de conductividad eléctrica del suelo para determinar la profundidad al horizonte petrocalcico., 1-8.
- Volverás, B., Amézquita, É., & Campo, J. (2016). Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria.*, *17*(3), 361-377.
- Volveras, B., & Collazos, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia., 1-5.
- Yáñez, M. I., Cantú, I., González, H., Marmolejo, J. G., Jurado, E., & Gómez, M. V. (2017). Respiración del suelo en cuatro sistemas de uso de la tierra, *8*(42).

ANEXOS

Anexo A. Encuesta antecedentes de la Finca

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

ENCUESTA TRABAJO DE GRADO

Investigación: Evaluación de la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucaplytus Grandis*), Sabana y zona de Bosque natural.

Investigador Principal: Damaris Perdomo Medina

Objetivo General: Evaluar la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales: Eucalipto (*Eucaplytus Grandis*), sabana y Bosque natural.

Objetivo de la encuesta: Conocer los antecedentes y anteriores usos que se le han dado al suelo en la finca Bellavista, vereda bellavista, municipio de Nátaga Huila de propiedad del señor Néstor Mauricio Arias Barrera.

A) INFORMACIÓN BÁSICA

Nombre del encuestado:
Cédula de ciudadanía:

Sexo:
Edad:

B) INFORMACIÓN SECUNDARIA SOBRE LA ZONA

1. Conoce la finca Bellavista de la vereda Bellavista del municipio de Nátaga Huila de propiedad del señor Néstor Mauricio Arias Barrera? (Si contesta NO por favor no seguir contestando las siguientes preguntas)

- a) SI b) NO

2. Desde hace cuánto tiempo conoce la finca?

- a) 05 – 15 años
b) 15 – 30 años
c) 30 – 45 años

3. Que usos le han dado a la tierra de la finca Bellavista?

- a) Cultivo de café

- b) Ganadería Extensiva
- c) Bosque natural
- d) Otro

Cual? _____

4. Que características climatológicas ha tenido la finca desde el momento en que la conoce.

5. Que cambios significativos ha tenido la finca desde el momento en que la conoce?

6. Sabe usted si existe alguna fuente hídrica que pase por la finca?

- a) SI
- b) NO

Cual? _____

7. Ha trabajado en esa finca en algún momento?

- a) SI
- b) NO

8. Si ha trabajado en la finca, como considera que son los suelos?

- a) Buenos para trabajar
- b) Regulares con sitios buenos y otros malos para trabajar
- c) Malos todos los suelos de la finca

9. Diga algún beneficio que aporta la finca para la comunidad?

10. Qué diferencias considera que hay en la finca desde el momento en que conoce la finca hasta el día de hoy?

Anexo B. Descripción de los suelos

BOSQUE NATURAL

Proyecto: Calicata Bosque Natural		Fecha: 04 de Junio 2018
Departamento: Huila		Municipio: Nátaga
Localización Geográfica: Vereda: Buenavista		Altura: 1900 msnm
Relieve: Ondulado , Topografía Vecina: Ondulado		
Temperatura Edáfica: 22.5°C		
Precipitación Anual: 1584 mm		Distribución: bimodal
Evidencias de Erosión: No hay evidencias de erosión		
Vegetación Natural: Lacre Rosado y Blanco, Aguacatillo, Hojiancho, Chonta, Amarillo, Igua, Laurel, Platanillo, Arrayan, Cedro, Bejucos, Heliconias		Uso Actual e Intensidad: Bosque Natural
Régimen Humedad del Suelo: Údico		Régimen Temperatura del Suelo: Isotérmico
Profundidad Efectiva: aprox 80 cm		Limitante de profundidad: Presencia de rocas en algunos sectores.
Humedad Actual del Perfil: Húmedo		
Drenaje interno y externo: Bueno		Drenaje Natural: Bueno
Clase Agrológica: Clase VII		

Descripción de los horizontes

Horizontes	Descripción	Perfil
0 - 12 cm O ₂	Color en húmedo 5YR3/2, color en seco 5YR3/1 sin manchas; textura Franco, con estructura migajosa, consistencia en seco suave, en húmedo muy friable, en mojado no plástico, presencia de muchos poros medios y gruesos, abundantes raíces finas y principales, limite gradual.	
12 - 20 cm A ₁	Color en húmedo 5YR2.5/1, color en seco 10YR2/1 sin manchas; textura Franco Arcilloso, con estructura migajosa, consistencia en seco suave, en húmedo friable, en mojado muy plástico, presencia de muchos poros medios y gruesos, abundantes raíces finas y principales, limite claro.	
20 - 77 cm B ₁	Color en húmedo 5Y7/6, color en seco 5Y6/6 sin manchas; textura Arcillosa, con estructura en bloques, consistencia en seco duro, en húmedo friable, en mojado moderadamente plástico, presencia de pocos poros medios y gruesos, pocas raíces finas y algunas principales, limite claro	
77 - 100 cm B ₂	Color en húmedo 5Y7/8, color en seco 5Y6/8 sin manchas; textura Arcillosa, con estructura en bloques, consistencia en seco duro, en húmedo friable, en mojado moderadamente plástico, presencia de pocos poros medios y gruesos, pocas raíces finas y algunas principales, limite difuso.	

SABANA

Proyecto: Calicata en la sabana		Fecha: 04 de Junio 2018
Departamento: Huila		Municipio: Nátaga
Localización: Vereda: Buenavista, Finca: Buenavista		Altura: 1900 msnm
Relieve: Ondulado, Topografía Vecina: Ondulado		
Temperatura Edáfica: 27°C		
Precipitación Anual: 1584 mm	Distribución: Bimodal	
Evidencias de Erosión: erosión laminar y por sectores erosión en surcos pequeños.		
Vegetación Natural: Sabana, Helechos, Paja, Escoba, guadua.	Uso Actual e Intensidad: Ganadería extensiva	
Régimen Humedad del Suelo: Ústico	Régimen Temperatura del Suelo: Isohipertérmico	
Profundidad Efectiva: aprox 30 cm	Limitante de profundidad: Disminución de la porosidad por compactación por el pastoreo de los animales	
Humedad Actual del Perfil: Seco		
Drenaje internos y externo: Regular en algunas zonas, Drenaje Natural: Bueno		
Clase Agrológica: Clase IV		


Descripción de los horizontes

Horizonte	Descripción	Perfil
0 - 20 cm A ₁	Color en húmedo 10YR4/2, color en seco 10YR3/3 sin manchas; textura Franco Arcillo Arenoso, con estructura migajosa, consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo firme, en mojado muy plástico, presencia de pocos poros medios y gruesos, abundantes raíces finas, limite gradual.	
20 - 30 cm A ₃ Transición	Color en húmedo 5Y 5/4, color en seco 5Y 4/4 sin manchas; textura Franco Arcilloso, con estructura en bloques, consistencia en seco ligeramente duro, en húmedo firme, en mojado muy plástico, presencia de pocos poros medios y gruesos, pocas raíces finas, limite difuso.	
30 - 100 cm B ₂	Color en húmedo 10YR6/8, color en seco 5Y6/6 sin manchas; textura Arcillosa, con estructura en bloques, consistencia en seco duro, en húmedo firme, en mojado moderadamente plástico, presencia de pocos poros medios, sin presencia de raíces finas y principales, limite claro	

EUCALIPTO

Proyecto: Plantación de Eucalipto		Fecha: 4 de junio 2018
Departamento: Huila		Municipio: Nátaga
Localización: Vereda: Buenavista - Finca Buenavista		Altura: 1900 msnm
Relieve: Ondulado, Topografía Vecina: Ondulado		
Temperatura Edáfica: 24.7°C		
Precipitación Anual: 1584 mm		Distribución: bimodal
Evidencias de Erosión: Zonas con erosión en surcos con formación a cárcavas pequeñas.		
Vegetación Natural: Eucalipto, Pasto Micay, Pacunga, guadua.		Uso Actual: Plantación de Eucaliptos de 1 y 2 años de sembrados
Régimen Humedad del Suelo: Ústico		Régimen Temperatura del Suelo: Isohipertérmico
Profundidad Efectiva: aprox 40 cm		Limitante de profundidad: Perdida de propiedades físicas del suelo
Humedad Actual del Perfil: húmedo		
Drenaje Interno, externo y natural: Bueno		
Clase Agrológica: Clase IV		

Descripción de los horizontes

Horizonte	Descripción	Perfil
<p>0 - 15 cm A₁</p>	<p>Color en húmedo 5Y3/2, color en seco 5Y2.5/2 sin manchas; textura Franco Arcillo, con estructura migajosa, consistencia en seco suave, en húmedo muy friable, en mojado moderadamente plástico, presencia de muchos poros medios y gruesos, abundantes raíces finas y principales, limite gradual.</p>	
<p>20 - 30 cm A₂ Transición</p>	<p>Color en húmedo 2.5Y 5/4, color en seco 2.5Y 4/4 sin manchas; textura Franco Arcilloso, con estructura migajosa, consistencia en seco suave, en húmedo muy friable, en mojado moderadamente plástico, presencia de muchos poros medios y gruesos, abundantes raíces finas y principales, limite gradual.</p>	
<p>30 - 100 cm B₂</p>	<p>Color en húmedo 5Y7/8, color en seco 2.5Y7/8 sin manchas; textura Arcillosa, con estructura en bloques, consistencia en seco duro, en húmedo firme, en mojado moderadamente plástico, presencia de pocos poros medios, sin presencia de raíces finas, con presencia de algunas raíces principales, limite claro.</p>	

Anexo C. Caracterización física, química y biológica de los suelos

Propiedades físicas de los suelos										
PARAMETRO	BOSQUE NATURAL			SABANA			EUCALIPTOS			
	1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*	
Densidad Aparente (g/cm ³)	0,7	0,75	0,8	1,36	1,38	1,35	1,35	1,3	1,33	
Índice Estabilidad de Agregados	74,7	72,4	76,4	70,55	65,9	70,55	85,4	78,8	77,3	
Arena (%)	54,4	51,5	52,2	64,95	66,2	66,5	56,2	80,2	45,95	
Limo (%)	14	14,7	16,75	17	16,75	12,7	15	13,75	24	
Arcilla (%)	31,6	33,8	31,05	18,08	17,05	20,8	28,8	6,05	30,05	
RH (%)	0,3 Bar	55,5	51	69,8	45,2	43,9	45,2	38,8	37,7	38,3
	1,0 Bar	49,3	45,1	67,9	43,6	41,1	43,6	37,5	36	35,2
	3,0 Bar	47,1	43,2	66,5	42,9	39,8	42,9	36,3	34,8	34,2
	5,0 Bar	46	42,2	64,7	41,5	38,3	41,5	35	33,7	33,2
	15 Bar	39,8	36,6	57,6	36,5	33,2	36,5	30,9	28,5	28,9

*Repeticiones por cobertura vegetal. RH retención de humedad del suelo.

Propiedades químicas de los suelos									
PARAMETRO	BOSQUE NATURAL			SABANA			EUCALIPTOS		
	1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*
pH	3,5	3,6	3,61	4,31	4,3	4,38	4,3	4,23	4,74
Conductividad Eléctrica (C.E) (dS/m)	0,17	0,14	0,211	0,08	0,07	0,1	0,06	0,05	0,13
Nitrógeno Total (ppm)	0,34	0,34	0,33	0,31	0,33	0,34	0,22	0,2	0,25
Potasio (meq/100g)	0,2	0,17	0,46	0,23	0,25	0,29	0,23	0,16	0,26
Carbono Orgánico (ppm)	18,34	14,58	17,85	6,16	6,33	6,78	3,89	4,08	5,2
Calcio (meq/100g)	0,75	0,15	1,14	1,98	1,75	1,95	1,02	1,78	2,85
Magnesio (meq/100g)	0,31	0,09	0,41	0,41	0,59	0,72	0,4	0,31	0,9
Sodio (meq/100g)	0,09	0,06	0,13	0,06	0,07	0,08	0,15	0,07	0,13

*Repeticiones que se realizaron en cada cobertura vegetal

Propiedades biológicas de los suelos									
PARAMETRO	BOSQUE NATURAL			SABANA			EUCALIPTOS		
	1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*
Materia Orgánica (%)	31,64	25,15	30,79	10,63	10,92	11,7	6,71	7,04	8,97
Dinámica Microbial (gCO ₂)	0,0037	0,004	0,0035	0,0035	0,0029	0,003	0,0036	0,0038	0,0039
Relación C/N	53,94	42,88	54,09	19,87	19,18	19,94	17,68	20,40	20,80

*Repeticiones que se realizaron en cada cobertura vegetal

Anexo D. Estadística descriptiva

Cobertura Vegetal	Variable	Propiedades Físicas de los suelos						
		\bar{x}	Me	S ²	S _x	% CV	Rango	Sesgo Estándar
Bosque	Densidad Aparente	0,75	0,75	0,0025	0,05	6,66	0,1	0
	Índice Estabilidad Agregados	74,48	74,7	4,03	2,007	2,69	4	-0,3138
	Arena	52,68	52,2	2,29	1,513	2,87	2,9	0,9365
	Arcilla	32,12	31,6	2,1175	1,455	4,52	2,75	1,0308
	Limo	15,10	14,7	2,0425	1,429	9,43	2,75	0,9025
	Ret. humedad 0.3 Bar	58,24	55,5	96,363	9,816	16,70	18,8	0,9416
	Ret humed 15 Bar	43,77	39,8	128,013	11,31	25,33	21	1,1154
Eucalipto	Densidad Aparente	1,33	1,33	0,0006	0,0251	1,89	0,05	-0,4140
	Estabilidad Agregados	80,42	78,8	18,57	4,309	5,35	8,1	1,0599
	Arena	59,16	56,2	309,021	17,579	28,92	34,25	0,7732
	Arcilla	17,36	28,8	182,521	13,51	62,45	24	-1,2129
	Limo	17,04	15	31,2708	5,5920	31,803	10,25	1,1562
	Ret humed 0.3 Bar	38,26	38,3	0,3033	0,5507	1,4392	1,1	-
	Re humed 15 Bar	29,41	28,9	1,6533	1,2858	4,3685	2,4	0,191877
Sabana	Densidad Aparente	1,36	1,36	0,0002	0,0152	1,1204	0,03	0,6613
	Estabilidad Agregados	68,96	70,55	7,2075	2,6846	3,8908	4,65	-1,2247
	Arena	65,88	66,2	0,6758	0,8220	1,2478	1,55	-1,0438
	Arcilla	18,58	18,08	3,7536	1,9374	10,3921	3,75	0,8469
	Limo	15,35	16,75	5,8258	2,4136	15,5889	4,3	-1,2099
	Ret humedad 0.3 Bar	44,76	45,2	0,5633	0,7505	1,6765	1,3	-1,2247
	Ret humedad 15 Bar	35,36	36,5	3,63	1,9052	5,3820	3,3	-1,2247

Naranja: CV < 20% - Azul: 20 < CV < 40% - Verde: CV > 60%

Coberturas vegetales	Variable	Propiedades químicas de los suelos						
		\bar{x}	Me	S ₂	S _x	% CV	Rango	Sesgo Estándar
Bosque	pH	3,57	3,6	0,0037	0,0608	1,7038	0,11	-1,1876
	Conductiv Eléctrica	0,17	0,17	0,0012	0,0356	20,523	0,071	0,32388
	Nitrógeno Total	0,34	0,34	3,3333E-05	0,0057	1,7149	0,01	-1,2247
	Potasio	0,25	0,2	0,0254	0,1594	57,642	0,29	1,17617
	Carbono Orgánico	16,83	17,85	4,1784	2,0441	12,078	3,76	-1,1460
	Calcio	0,50	0,75	0,2487	0,4986	73,338	0,99	-0,4378
	Magnesio	0,22	0,31	0,0268	0,1637	60,632	0,32	-0,7310
	Sodio	0,09	0,09	0,0012	0,0351	37,627	0,07	0,2992
Eucalipto	pH	4,42	4,3	0,0764	0,2764	6,2501	0,51	1,1370
	Conductiv Eléctrica	0,07	0,06	0,0019	0,0435	54,486	0,08	1,1526
	Nitrógeno Total	0,22	0,22	0,0006	0,0251	11,268	0,05	0,4140
	Potasio	0,21	0,23	0,0026	0,0513	23,684	0,1	-0,7709
	Carbono Orgánico	4,35	4,08	0,5011	0,7078	16,124	1,31	1,1262
	Calcio	1,73	1,78	0,8452	0,9193	48,815	1,83	0,3531
	Magnesio	0,48	0,4	0,1010	0,3178	59,228	0,59	1,1152
	Sodio	0,11	0,13	0,0017	0,0416	35,685	0,08	-0,9145
Sabana	pH	4,33	4,31	0,0019	0,0435	1,0066	0,08	1,1526
	Conductiv Eléctrica	0,08	0,08	0,0002	0,0152	18,330	0,03	0,6613
	Nitrógeno Total	0,3	0,3	0,0006	0,0251	11,268	0,05	0,4140
	Potasio	0,25	0,25	0,0009	0,0305	11,902	0,06	0,6613
	Carbono Orgánico	6,42	6,33	0,1026	0,3203	4,9875	0,62	0,8483
	Calcio	1,89	1,95	0,0156	0,1250	6,6038	0,23	-1,1459
	Magnesio	0,56	0,59	0,0242	0,1556	27,151	0,31	-0,3367
	Sodio	0,07	0,07	0,0001	0,01	14,285	0,02	0

Naranja: CV < 20% - Azul: 20 < CV < 40% - Gris: 40 < CV < 60% - Verde: CV > 60%

Coberturas vegetales	Variable	Propiedades Biológicas						
		\bar{x}	Me	S ²	S _x	% CV	Rango	Sesgo Estándar
Bosque	Materia Orgánica (%)	29,04	30,79	12,44	3,5273	12,08	6,49	-1,1452
	Dinámica Microbial (gr CO ₂)	0,0037	0,0037	6,33E-08	0,0002	6,74	0,0005	0,4140
	Relación C/N	50,01	53,94	41,335	6,4292	12,78	11,21	-1,2239
Eucalipto	Materia Orgánica (%)	7,51	7,04	1,4902	1,2207	16,11	2,26	1,1248
	Dinámica Microbial (gr CO ₂)	0,0037	0,0038	2,33E-08	0,0001	4,05	0,0003	-0,6613
	Relación C/N	19,57	20,4	2,8821	1,6976	8,64	3,12	-1,1487
Sabana	Materia Orgánica (%)	11,07	10,92	0,3062	0,5533	4,99	1,07	0,8573
	Dinámica Microbial (gr CO ₂)	0,0031	0,003	1,03E-07	0,0003	10,25	0,0006	1,0927
	Relación C/N	19,66	19,87	0,1764	0,4200	2,13	0,76	-1,1865

Naranja: CV < 20%

Anexo E. Estadística no paramétrica

ANOVA para las variables Físicas del suelo empleando el uso del suelo como variable de clasificación.

Variable de respuesta	Razón - F	Valor - P	Media para uso de suelo			Contraste de usos. Test del rango múltiple
			Bosque Natural	Sabana	Eucaliptos	
Densidad Aparente (g/cm ³)	316,37	0	0,75	1,36	1,32	Bosque Natural - Eucaliptos, Bosque Natural - Sabana, Eucaliptos - Sabana
Índice de Estabilidad Agregados	9,99	0,0123	74,5	69	80,5	
% Arena	1,27	0,3456	52,7	65,88	60,78	
% Limo	0,4	0,6868	15,15	15,48	17,58	
% Arcilla	2,4	0,1711	32,15	18,64	21,63	
Ret humed 0.3 bar	10,16	0,0118	58,76	44,77	38,26	
Ret humed 15 bar	3,98	0,0795	44,6667	35,4	29,43	

ANOVA para variables químicas del suelo empleando el uso del suelo como variable de clasificación.

Variable de respuesta	Razón - F	Valor - P	Media para uso de suelo			Contraste de usos. Test del rango múltiple
			Bosque Natural	Sabana	Eucaliptos	
pH	24,04	0,0014	3,57	4,33	4,423	Bosque Natural - Eucaliptos, Bosque Natural - Sabana, Eucaliptos - Sabana
Cond. Eléctrica (dS/m)	7,47	0,0235	0,173667	0,0833	0,08	
Nitrógeno Total (ppm)	39,37	0,0004	0,336	0,326	0,223	
Potasio (meq/100g)	0,29	0,7584	0,276	0,256	0,216	
Carbono Orgánico (ppm)	85,15	0	16,923	6,423	4,39	
Calcio (meq/100g)	3,95	0,0805	0,68	1,893	1,88	
Magnesio (meq/100g)	1,62	0,2734	0,27	0,573	0,536	
Sodio (meq/100g)	1,6	0,2778	0,0933	0,07	0,116	

ANOVA para las variables biológicas del suelo empleando el uso del suelo como variable de clasificación.

Variable de respuesta	Razón - F	Valor - P	Media para uso de suelo			Contraste de usos. Test del rango múltiple
			Bosque Natural	Sabana	Eucaliptos	
Materia Orgánica	85,09	0	29,19	11,08	7,57	Bosque Natural - Eucaliptos, Bosque Natural - Sabana, Eucaliptos - Sabana
Relación C/N	63,52	0,0001	50,303	19,66	19,62	
Dinámica Microbial (gCO ₂)	6,02	0,0368	0,0037	0,0031	0,0037	