

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL
SUELO, EN EL CAMBIO DE UNA ACTIVIDAD GANADERA A UNA ACTIVIDAD
AGRÍCOLA DE CULTIVO PERENNE DE CÍTRICOS EN EL ÁREA RURAL DE
VILLAVICENCIO-META.**

**CAROLINA ENCISO CASTRO
ELIANA MARÍA IZQUIERDO REY**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO, META**

2018

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL
SUELO, EN EL CAMBIO DE UNA ACTIVIDAD GANADERA A UNA ACTIVIDAD
AGRÍCOLA DE CULTIVO PERENNE DE CÍTRICOS EN EL ÁREA RURAL DE
VILLAVICENCIO-META.**

**CAROLINA ENCISO CASTRO
ELIANA MARIA IZQUIERDO REY**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor:

**CESAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO
Ingeniero Agrónomo cMSc**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO, META**

2018

Autoridades académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O. P

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O. P

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

CESAR AUGUSTO RIVEROS ROMERO

Director Trabajo de Grado

ALFONSINA BOCANEGRA GÓMEZ

Jurado

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA

Jurado

Contenido

Pág.

Resumen	1
Abstract	3
Introducción	5
1. CAPITULO I	6
1.1. Planteamiento del Problema	6
1.2. Objetivos	8
1.3. Justificación	8
1.4. Alcance del proyecto.....	9
2. CAPITULO II	11
2.1. Antecedentes	11
3. CAPITULO III	13
3.1. Marco de Referencia	13
3.1.1. Marco Teórico	13
3.1.2. Marco Conceptual	14
3.1.3. Marco Legal	19
4. CAPITULO IV	21
4.1. Metodología	21
4.1.1. Hipótesis.....	21
4.1.2. Descripción del Área de Estudio.....	21
4.1.3. Fase 1. Identificación de las Propiedades Físicas y Químicas del suelo.....	22
4.1.4. Fase 2. Medición de Variables Hidrológicas	27

4.1.5. Fase 3. Muestreo para Propiedades Biológicas del Suelo.....	30
4.1.6. Fase 4. Tabulación, Análisis de Resultados y Comparación de Condiciones del Suelo.....	32
5. CAPITULO V.....	34
5.1. Resultados y Análisis de resultados	34
5.2. Conclusiones	59
5.3. Discusión de Resultados y Recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas	62
Apéndices	68

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Localización general de la zona de estudio (Finca San Francisco y Finca La Palmita) en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Realizado por medio del software ArcGis 10.1. (Fuente: Elaboración propia).	10
Figura 2. Variaciones en las tasas de erosión E y deposición D, según los cambios topográficos a lo largo de una pendiente. (Fuente: Terrence & otros., 2002).	18
Figura 3. Diagrama metodológico para la toma y procesamiento de datos. (Fuente: Elaboración propia).	22
Figura 4. Ilustración de medición de pendiente en el terreno. (Fuente: Ramón Pérez, J., s.f.). ...	23
Figura 5. Diseño y dimensiones de parcela de escorrentía. (Fuente: Elaboración propia).	27
Figura 6. Perfil de pendiente de los puntos de toma de datos para la evaluación de las condiciones físicas e hidrológicas de las zonas de estudio en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Donde: P=Porcentaje de pendiente y ubicación de parcelas de escorrentía; Zona 1= Bosque secundario; Zona 2=Barbecho; Zona 3=Cultivo de cítricos. Realizado por medio del software Global Mapper. (Fuente: Elaboración propia).	34
Figura 7. Ubicación de los puntos de toma de datos para la evaluación de las condiciones del suelo de las zonas 1, 2 y 3 en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Donde: Zona 1= Bosque secundario; Zona 2=Barbecho; Zona 3=Suelo con cultivo de cítricos. Realizado por medio del software ArcGis 10.1. (Fuente: Elaboración propia).	35
Figura 8. Ubicación de los puntos de toma de datos para la evaluación de las condiciones del suelo de la zona 4 Suelo con actividad ganadera, en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta.	35
Figura 9. Densidad aparente y real del suelo en cada zona de estudio.	46
Figura 10. Porcentaje de porosidad, humedad y aire en cada zona de estudio.	47
Figura 11. Correlación escorrentía vs precipitación por zona de estudio.	50
Figura 12. Correlación erosión vs pendiente por zona de estudio. Realizado por medio del software Minitab 17. Donde: Bosque=Zona 1; Barbecho=Zona 2; Cítricos=Zona 3; Ganadería=Zona 4.	51

Figura 13. Gráfica de relación erosión vs escorrentía y precipitación por zona de estudio.	52
Figura 14. Gráficos de dispersión de velocidad de infiltración por zona de estudio. Realizado por medio del software IBM SPSS Statistics 24.....	54

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Factores para la corrección de la densidad del agua.....	25
Tabla 2. Variables físicas, químicas y biológicas a evaluar.	33
Tabla 3. <i>Densidad de cobertura vegetal en la zona de bosque secundario</i>	36
Tabla 4. Propiedades físicas del suelo en la zona de bosque secundario.....	36
Tabla 5. Propiedades químicas del suelo en la zona de bosque secundario	37
Tabla 6. <i>Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de bosque secundario</i>	37
Tabla 7. <i>Densidad de cobertura vegetal en la zona de barbecho</i>	38
Tabla 8. Propiedades físicas del suelo en la zona de barbecho.....	38
Tabla 9. Propiedades químicas del suelo en la zona de barbecho	39
Tabla 10. <i>Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de barbecho</i>	39
Tabla 11. <i>Densidad de cobertura vegetal en la zona de cítricos</i>	40
Tabla 12. <i>Propiedades físicas del suelo en la zona de cítricos</i>	40
Tabla 13. <i>Propiedades químicas del suelo en la zona de cítricos</i>	41
Tabla 14. <i>Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de cítricos</i>	41
Tabla 15. <i>Densidad de cobertura vegetal en la zona de ganadería</i>	42
Tabla 16. <i>Propiedades físicas del suelo en la zona de ganadería</i>	42
Tabla 17. <i>Propiedades químicas del suelo en la zona de ganadería</i>	43
Tabla 18. <i>Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de ganadería</i>	43
Tabla 19. Resultados de análisis químico por zona de estudio (comparativo).	44
Tabla 20. Pérdidas de suelo por escorrentía superficial a distintas pendientes y precipitaciones	48
Tabla 21. Promedio de velocidad de infiltración por zona de estudio.....	52
Tabla 22. Promedio de densidad de macroinvertebrados y de propiedades físicas por cada zona de estudio.	55
Tabla 23. Matriz de coeficientes de correlación y sus respectivas probabilidades de las variables evaluadas en cada zona de estudio en Villavicencio, Meta, 2017.	57

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Resultado de análisis de suelos hoja 1.....	68
Apéndice B. Resultado de análisis de suelos hoja 2.....	69
Apéndice C. Planilla de datos para muestreo de cuadrantes y transectos para el registro de cobertura vegetal.....	70
Apéndice D. Planilla de datos para calcular densidad aparente (método del cilindro) y humedad.	70
Apéndice E. Planilla de datos para calcular densidad real (método del picnómetro).....	70
Apéndice F. Planilla de datos respecto a picnómetros para calcular densidad real.....	71
Apéndice G. Planilla de datos para muestreo de cantidad de aire.....	71
Apéndice H. Planilla de datos para cálculo de porcentaje de porosidad.....	72
Apéndice I. Tabla de resultados velocidad de infiltración.....	72
Apéndice J. Planilla de pendiente promedio por zona.....	73
Apéndice K. Planilla de datos de porcentaje de pendiente por parcela.....	73
Apéndice L. Instalación y ubicación de microparcels de escorrentía.....	74
Apéndice M. Lecturas de velocidad de infiltración.....	74
Apéndice N. Obtención de muestras para determinación de variables físicas del suelo.....	74
Apéndice O. Medición de densidad real y contenido de aire del suelo.....	75
Apéndice P. Obtención de muestras para análisis químico del suelo.....	75
Apéndice Q. Medición de pérdida de suelo por escorrentía superficial.....	75
Apéndice R. Ubicación de trampas de caída y transectos para el muestreo de propiedades biológicas.....	76
Apéndice S. Tabla base de datos recolectados en los sistemas evaluados.....	77

Resumen

En la región de la Orinoquía se han presentado cambios de uso del suelo por actividades de producción agropecuaria las cuales generan afectaciones como la erosión, desertificación, acidez y demás procesos de degradación del suelo. Siendo así, se ha evidenciado en la vereda La Argentina de la ciudad de Villavicencio-Meta esta situación de cambio de uso del suelo, específicamente de actividad ganadera a actividad de producción agrícola centrada en cultivos perennes, siendo los predios Finca San Francisco y Finca La Palmita, las zonas objeto de estudio.

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo en el cambio de una actividad ganadera a una actividad agrícola centrada en el cultivo perenne de cítricos, para determinar si esta práctica productiva beneficia las características del suelo al no centrarse en cultivos transitorios, sino en aquellos que con el tiempo brindan una cobertura capaz de proteger el suelo contra la radiación solar y las lluvias, evitando la pérdida de este recurso y el incremento de la erosión en dichas áreas.

Para ello se estableció una metodología y diseño experimental de bloques completamente al azar que permitió estudiar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro zonas de estudio (bosque secundario, barbecho, cítricos y ganadería), teniendo en cuenta principalmente las variables hidrológicas, el contenido de materia orgánica, la presencia de macroinvertebrados del suelo y la cobertura vegetal; dichos indicadores de calidad se correlacionaron para determinar la relación entre las variables biológicas y las variables fisicoquímicas del suelo.

Por otra parte, se pesó la cantidad de suelo erosionado en cada microparcela para obtener datos de la posible erosión hídrica que ocurre en cada zona de estudio, según cada tratamiento. El sistema que obtuvo los mayores valores de escorrentía (20,44 %) y erosión (38,65 kg/Ha) fue la parcela número uno de la zona de ganadería, seguida de la parcela número uno de la zona testigo (escorrentía de 19,47 % y 35,77 Kg/Ha de pérdida de suelo); por el contrario, la parcela número dos de la zona de cítricos obtuvo el nivel más bajo de escorrentía (9,1 %) y la parcela número tres de la zona testigo no obtuvo pérdida de erosión (0 Kg/Ha).

Finalmente se compararon sus características y estado en cada zona de estudio, encontrando similitud de las características entre el sistema testigo (bosque secundario) y el sistema de cultivos permanentes, el cual presentó un mayor porcentaje en cuanto a cobertura vegetal (770 individuos por m²) y materia orgánica (3,4 %), influyendo positivamente en la abundancia de macroinvertebrados que tienen como función biológica contribuir en la distribución y estructura del suelo, por lo que se encontraron niveles bajos de erosión (24,87 kg/Ha) y escorrentía superficial (10,83 %) en comparación a los sistemas de barbecho y de ganadería evaluados.

Palabras clave: Manejo del suelo, cobertura vegetal, escorrentía, erosión.

Abstract

There have been changes in land use in Orinoquia region for agricultural production activities which generate effects such as erosion, desertification, acidity and other processes of soil degradation. This being the case, this situation of change of land use has been evidenced in the village of La Argentina in the city of Villavicencio, Meta, specifically from livestock activity to agricultural production activity focused on perennial crops, being the San Francisco and La Palmita properties, the areas under study.

Therefore, the objective of this investigation was to evaluate the physical, chemical and biological conditions of the soil that changes from a livestock activity to an agricultural activity centered on the cultivation of perennial citrus fruits, to determine if this productive practice benefits the characteristics of the soil by not focusing on transient crops, but those that over time provide a vegetation cover capable of protecting the soil from solar radiation and rain, avoiding the loss of this resource and the increase of erosion in these areas.

For this, a methodology and experimental design of randomized complete blocks were established, which allowed to study the physical, chemical and biological conditions of the soil in four study zones (secondary forest, fallow, citrus cultivation and with livestock activity), taking into account mainly the hydrological variables, content of organic matter, the presence of soil macroinvertebrates and the vegetal cover; these quality indicators were correlated to determine the relation between the biological variables and the soil physicochemical variables.

Moreover, the amount of eroded soil was weighed in each microplot runoff to obtain data on possible water erosion that happens in each study zone, according to every treatment. The system that obtained the highest values of runoff (20,44 %) and erosion (38,65 kg/Ha) was the plot number one of the livestock area, followed by the plot number one of control area (19,47 % of surface runoff and 35,77 Kg/Ha of soil loss); conversely, the plot number two of the citrus cultivation area got the lowest level of runoff (9.1%) and the plot number three of control area didn't get soil loss (0 Kg/Ha).

Finally their characteristics and conditions were compared in every study area, finding similarity of the characteristics between the control system (secondary forest) and the system of permanent crops, which presented a higher percentage in terms of vegetation cover (770 individuals per m²) and organic matter (3,4 %), positively influencing the abundance of macroinvertebrates whose biological function contributes to the distribution and structure of the soil, therefore low levels of erosion (24,87 kg/Ha) and surface runoff (10,83 %) were found in comparison with the systems of fallow and livestock activity evaluated.

Key words: Soil management, vegetation cover, runoff, erosion.

Introducción

El uso inadecuado del suelo, las malas prácticas, la sobreutilización o subutilización, han generado algún conflicto en la calidad de los suelos, afectando así diferentes coberturas vegetales las cuales varían dependiendo de las condiciones propias de su entorno. Según estudios realizados por el IGAC, el 28 por ciento del territorio colombiano, es decir 32.794.351 Ha. presentan estos conflictos, incluido allí el departamento del Meta con un 44 por ciento de sus suelos afectados; 35 por ciento por subutilización y 9 por ciento por sobreutilización (Nieto Escalante, 2016).

La causa que se evidencia en estos conflictos de calidad y el uso del suelo se relaciona con el mal aprovechamiento del mismo que ejercen las actividades productivas como la agricultura, ganadería y empresarial (IGAC; CORPOICA, 2002), influyendo en los procesos de degradación o desestabilizando propiedades del suelo como la capacidad de retención de agua, estructura, cobertura, infiltración, densidad, entre otros (Gutierrez Pajarito & Pinzón Rojas, 2017).

Con base en lo anterior, a partir del análisis comparativo de diferentes sistemas de cobertura vegetal, este estudio se alinea con la problemática expresada y las posibles estrategias de solución, teniendo en cuenta que los procesos de degradación identificados afectan ciclos productivos, biológicos e hidrológicos (Gutierrez Pajarito & Pinzón Rojas, 2017), por tanto, se deberá reorientar la vocación del suelo y sus prácticas en torno a un mejor uso del mismo sin descuidar el interés productivo por parte de los agricultores, aprovechando de manera eficiente este recurso por medio de estrategias ambientales que influyan a su vez en la producción y desarrollo económico, en el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas de tal recurso y a su vez en la preservación del medio ambiente, aportando al desarrollo del POT y a la investigación para un manejo sostenible del suelo.

1. Capítulo I

1.1. Planteamiento del Problema

El suelo es una parte fundamental de los ecosistemas terrestres debido a que contiene agua y elementos que nutren a las plantas y otros organismos vivos que hacen parte de la biota del suelo (Echarri, 1998), siendo considerado un recurso de vital importancia por su relación con los ecosistemas, el aporte en la producción agropecuaria, y la relación directa que tiene con la dinámica socioeconómica; de esta manera, es relevante realizar estudios sobre los procesos de formación del suelo, sus componentes y dinámica en general, para establecer técnicas de manejo que tengan como fin mantener y regenerar de manera eficiente este recurso natural, considerando que el suelo ha sufrido de múltiples alteraciones como la erosión, la compactación y pérdida de materia orgánica (Silva Arroyave & Correa Restrepo, 2009); estos cambios podrían estar relacionados con las actividades que se ejercen sobre él (agropecuaria, urbana, minera).

En Colombia, el aumento de la demanda de bienes y servicios del suelo¹, y el desconocimiento de la planeación de ordenamiento territorial, son causantes de la degradación del suelo debido a la aprobación de prácticas de actividades antrópicas en zonas donde se alcanzan a afectar ecosistemas propios de cada región del país (SIAC).

Como señala el SIAC:

Los procesos de degradación más relevantes en Colombia son la erosión, el sellamiento de suelos, la contaminación, la pérdida de la materia orgánica, la salinización, la compactación y la desertificación; procesos que afectan en gran medida a las regiones Caribe, Andina y Orinoquia y que comienzan a notarse en la Amazonia y en el litoral Pacífico (SIAC).

¹ El recurso suelo es capaz de proporcionar servicios de suministro, regulación y ámbito cultural, uno de estos recursos es la producción agrícola de alimentos, madera y forraje (Sinning Durán, 2010).

Lo anterior permite entender que, la Orinoquia a pesar de ser la región con mayor interés y privilegio dentro del sector agropecuario del país (Benavides, 2010), no soporta actividades antrópicas de gran impacto y por tal razón es afectada ambientalmente, teniendo así que soportar procesos de degradación.

La principal actividad en la Orinoquia es la ganadería extensiva, aunque en la actualidad el uso del suelo se orienta hacia el desarrollo de actividades agrícolas (SIAC) que aumentan a través del tiempo; estudiando la gama de suelos que existe en la región, tiene áreas que permiten el desarrollo de cultivos exigentes como arroz, cacao, algodón, palma africana, entre otros (Correa, Ruiz, & Arévalo, 2005), las cuales comprenden el 11,3% del total de la Orinoquia, es decir 2,8 millones de hectáreas, en donde los departamentos de Vichada y Meta son los que más aportan a la cantidad de suelos con vocación agrícola (Nieto Escalante, 2016).

Con base en esta situación, es importante realizar estudios del mismo donde se vinculen suelos que fueron inicialmente utilizados para actividades ganaderas y que en la actualidad están orientados al desarrollo de actividades agrícolas, y suelos que continúan con uso ganadero.

Siendo así, se ha evidenciado una situación de cambio de uso de suelo en la vereda La Argentina de la ciudad de Villavicencio, Meta, en la Finca San Francisco, la cual años atrás tenía una finalidad de tipo ganadera y actualmente está orientada a cultivos perennes; por otra parte, se encuentra la Finca La Palmita, ubicada también en la vereda La Argentina, que continúa siendo de actividad ganadera.

Dada esta situación, se estudiaron indicadores de calidad del suelo para así comparar sus componentes físicos, químicos y biológicos, sus características y estado en cada zona de estudio: bosque secundario, barbecho, cítricos y ganadería; se identificaron y evaluaron los efectos que ocurren en el suelo al cambiar su uso y manejo, en este caso, cuando la actividad objeto de producción cambia de ganadería a cultivos de cobertura perennes.

1.2. Objetivos

Objetivo general.

Evaluar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, en el cambio de una actividad ganadera a una actividad agrícola de cultivo perenne de cítricos en el área rural de Villavicencio – Meta.

Objetivos específicos.

- Identificar las propiedades físico-químicas del suelo a través del análisis de muestras compuestas extraídas en cuatro zonas de estudio (bosque secundario, barbecho, cítricos y ganadería) ubicadas en la Vereda La Argentina- Villavicencio.
- Cuantificar la diversidad de macroinvertebrados del suelo y la cobertura vegetal para comparar las condiciones entre las cuatro zonas de estudio (bosque secundario, barbecho, cítricos y ganadería) ubicadas en la Vereda La Argentina- Villavicencio.
- Analizar los resultados obtenidos y comparar el estado del suelo y sus condiciones en cada zona de estudio.

1.3. Justificación

En la región de la Orinoquia se ha identificado que la mayor parte de la tierra con vocación agrícola se usa en ganadería, esta actividad utiliza entre un 68 - 90 % de las tierras con vocación agrícola, mientras que las áreas cultivadas alcanzan a ocupar entre el 10 – 32 % de las tierras (Rubio Jiménez, 2002).

Este cambio de uso del suelo es uno de los problemas más relevantes en la región, el cual está relacionado con hechos sociales como la violencia, las deficiencias e inequidades en la distribución del recurso (Rubio Jiménez, 2002) generando beneficios económicos sin tener en cuenta el aspecto social y ambiental, afectando el desarrollo en la región.

Problemas como la planeación del proceso de urbanización y la delimitación del uso de tierras, están influenciados por el acelerado crecimiento poblacional y la explotación del suelo urbano y rural para fines económicos, esto radica en el desconocimiento del estado del suelo para identificar su vocación y así evitar el uso inadecuado o la sobreutilización de los suelos, siendo importante involucrar el factor socioeconómico y la conservación del medio ambiente para contribuir con el desarrollo de la ciudad de Villavicencio (Suárez Puerto, 2014). Esta investigación demuestra los efectos existentes en el suelo a causa de los cambios de uso del mismo, dando así un aporte al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para el uso adecuado del recurso, el cual puede ser acogido por las entidades públicas y ambientales.

Por ello fue importante evaluar variables que permitieran conocer los efectos del manejo inadecuado del suelo, como lo son la degradación, pérdida de fertilidad, erosión y acidificación; estas consecuencias han conllevado a la inminente búsqueda de alternativas que contribuyan a minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente (Tovar Castaño, 2008). Dichos procesos de degradación pueden ser controlados a través del mejoramiento de técnicas o metodologías de manejo del suelo, que tienen en cuenta el estado del mismo.

Con base en lo anterior, los cultivos de cobertura perennes son una alternativa de producción que mejoran las condiciones del suelo brindando aportes ambientales como la conservación del agua, disminución de la erosión del suelo y control de plagas, malezas y enfermedades (Pound, 1994), siendo una estrategia que pueden aplicar los pequeños y grandes productores locales para tener un rendimiento productivo y así continuar con el desarrollo económico. Esta alternativa contribuye a la preservación del medio ambiente sin tener que declarar esas tierras como áreas de conservación y protección ambiental.

1.4. Alcance del proyecto

El proyecto se desarrolló en la ciudad de Villavicencio, la cual presenta una región montañosa al Occidente y Noroccidente, y una planicie ligeramente inclinada hacia el Oriente y el Nororiente, que corresponde al piedemonte de la cordillera, bordeada al Norte por el río Guatiquía (Acosta Guzmán, 2010). Esta ciudad divide su territorio por comunas a las áreas urbanas, y por corregimientos a las áreas rurales. Dentro de la zona de corregimiento No. 3 se encuentra la Vereda

La Argentina (POT, 2015), donde se realizó la investigación en dos predios (Finca San Francisco y Finca La Palmita).

Este corregimiento se encuentra ubicado en la zona noroccidental de Villavicencio, en el área de influencia del río Guatiquía, el cual según el componente rural del Plan de Ordenamiento Territorial (2015), presenta pendientes pronunciadas de más del 50 %, suelos susceptibles a la erosión y a pérdidas por arrastre y lavado. Los suelos de esta zona han soportado procesos de degradación de la cobertura boscosa debido a actividades agropecuarias que utilizan el 47 % de los suelos de dicho corregimiento, para el establecimiento de pasturas, y el 3 % para cultivos agrícolas (permanentes, semipermanentes y/o transitorios) (POT, 2015).

En el predio Finca San Francisco (con 13,1 hectáreas de área) se evidenció el cambio en el uso del suelo, debido a que se identificaron zonas con distintos usos, las cuales correspondieron a suelos de bosque secundario, de barbecho y con cultivo de cítricos; por otro lado, la Finca La Palmita (con 0,84 Has de área) contaba con un suelo afectado por actividad ganadera, es por ello que la investigación se delimitó a estas 4 zonas en específico (ver figura 1), las cuales se estudiaron entre julio-diciembre del año 2017 y en el mes de enero del año 2018.

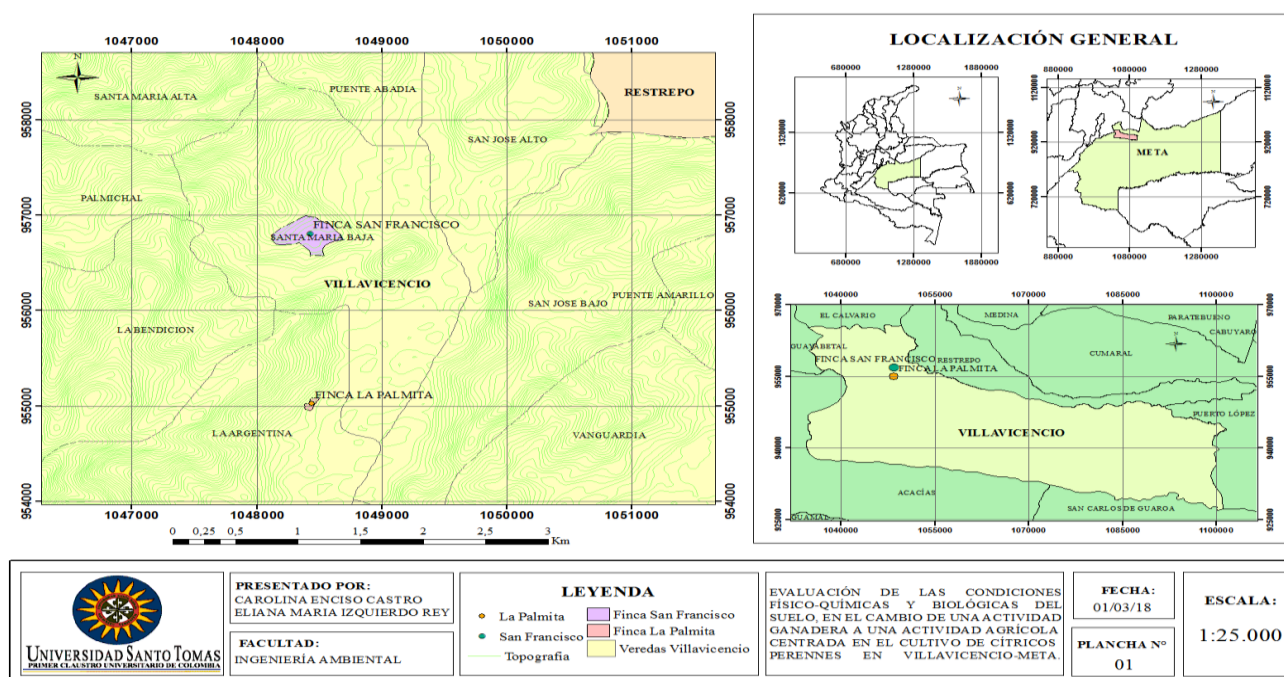


Figura 1. Localización general de la zona de estudio (Finca San Francisco y Finca La Palmita) en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Realizado por medio del software ArcGis 10.1. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

2. Capítulo II

2.1. Antecedentes

La publicación titulada “*Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América*” realizada por la FAO (1994), plantea las funciones, ventajas y desventajas de los cultivos de cobertura utilizados para las distintas actividades agrícolas de la región, teniendo en cuenta las diferentes condiciones físicas y las capacidades de adaptación de los cultivos cubiertos, esta publicación aporta al concepto de una alternativa productiva y sostenible que influye en las condiciones del suelo.

Al entenderse un cultivo de cobertura vegetal como una alternativa agrícola basada ya sea en cultivos temporales o permanentes, presentan aportes tanto productivos como ambientales en el suelo según la FAO (1994), permitiendo la conservación de agua y suelo al disminuir la erosión por escorrentía y favoreciendo el control de malezas, plagas y enfermedades en el cultivo.

No obstante, conociendo dichas contribuciones en los componentes suelo y agua, no se puede afirmar totalmente que los cultivos de cobertura siempre traen consigo un aporte positivo en el suelo, por tanto, al centrarse en cultivos perennes, según Anderson y otros (1997), la plantación de cítricos a pesar de ser un cultivo de cobertura, requiere de fertilizantes y control de malezas durante todo el ciclo de vida del cultivo, por lo que podría generar un impacto negativo.

Para determinar el tipo de aporte en el suelo de una actividad productiva, es necesario analizar el estado del suelo, donde se consideren factores bióticos y/o abióticos del medio ambiente, así como lo realizó Ríos (2006) en su estudio respecto al comportamiento hidrológico en zonas con distinta finalidad y cobertura vegetal (pasturas nativas sobrepastoreadas, pasturas nativas con árboles, pasturas mejoradas con árboles y un bosque secundario intervenido), el cual tuvo como objetivo determinar si los sistemas silvopastoriles a diferencia de la zona de pastura sobrepastoreada, aportan un beneficio en la recarga hídrica al controlar los fenómenos de escorrentía superficial y aumentar la infiltración de agua en el suelo; este trabajo comparó en

diferentes tratamientos las variables de infiltración, precipitación, escorrentía superficial, conductividad hidráulica y capacidad de retención de humedad del suelo, y se concluyó que los sistemas silvopastoriles sí son sostenibles con el medio ambiente (Ríos Ramírez, 2006), ya que favorecen a la conservación del recurso agua en el suelo, según cifras obtenidas por el autor, al presentar mayor capacidad de infiltración y un porcentaje de escorrentía del 7 % en la zona de bosque secundario intervenido y 15 % en la zona de pastura mejorada con árboles, mientras que en la pastura nativa sobrepastoreada la escorrentía generada fue del 28 %.

Ney Ríos (2006) implementó parcelas de escorrentía en cada sistema de pastura y realizó pruebas de infiltración con anillos concéntricos para determinar la capacidad de infiltración que tiene el suelo de la zona de estudio; dichas técnicas se aplicaron a la metodología del proyecto, independientemente de las diferentes características meteorológicas y climáticas que tienen la zona de estudio del referente y la zona de estudio donde se realizó la investigación.

Aunque dicha investigación principalmente haya considerado parámetros hidrológicos, también es necesario realizar estudios fisicoquímicos y biológicos del suelo para determinar el estado actual del mismo, la disponibilidad de nutrientes para la flora y mesofauna de la zona, y para identificar las posibles afectaciones causadas por la aplicación de agroquímicos, así como Jamioy Orozco (2011) realizó en su investigación “*Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del Piedemonte Llanero Colombiano*”.

Jamioy Orozco (2011) desarrolló su estudio en el centro de investigación Corpoica La Libertad, ubicado en el departamento del Meta en el kilómetro 25 de la vía Villavicencio- Puerto López, mediante muestreo aleatorio en 11 sistemas de uso productivo característicos del piedemonte llanero como lo son la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) de 18 y 30 años de edad, pastura degradada de *Brachiaria decumbens*, plantaciones forestales de acacia (*Acacia mangium*), yopo (*Anadenanthera peregrina*), melina (*Gmelina arborea*) y cultivos de cítricos específicamente naranja valencia (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). En dicha investigación evaluaron las variables físicas, químicas y biológicas del suelo y se concluyó que las prácticas de estos sistemas productivos conllevan a la degradación y afectación de la calidad del suelo debido al tipo y variedad del cultivo y a la aplicación de agroquímicos y fertilizantes (Jamioy Orozco, 2011).

3. Capítulo III

3.1. Marco de Referencia

3.1.1. Marco Teórico

3.1.1.1. Clasificación del suelo en la Orinoquía

El suelo cuenta con distintas características en cada una de las regiones de Colombia y de ello depende su uso y producción agropecuaria.

Phiri, & otros (2001) y Malagón Castro (2003), indican que los suelos de los Llanos Orientales son caracterizados por su alta acidez y baja fertilidad cuya mineralogía dominante son caolinitas, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Estas características están asociadas a procesos de mayor alteración, los cuales generan un menor aporte de elementos requeridos por las plantas y mayor dependencia de su fracción orgánica, afectando la capacidad productiva del suelo en la cual están involucradas las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Estos suelos presentan contenidos bajos de bases intercambiables, pH fuertemente ácido, baja disponibilidad de fósforo, baja capacidad de intercambio catiónico, altos niveles de hierro y predominio del aluminio en el complejo de cambio (Guerrero, 1990; Corpoica, 2007; Sánchez, 2010).

Físicamente son suelos con estructuras estables, de texturas moderadas, con una capacidad de almacenamiento de agua muy baja, conductividad hidráulica lenta y con densidades aparentes que fluctúan entre 1,3 – 1,4 g/cm³, clasificándose taxonómicamente en suelos oxisoles generalmente (Guerrero, 1990; Corpoica, 2007; Sánchez, 2010).

3.1.1.2. Beneficios de la agricultura permanente

Muchos de los cultivos orgánicos y permanentes benefician a los organismos vivos del suelo, mejoran su formación y estructura, propiciando sistemas más estables. A su vez, se incrementa la

circulación de los nutrientes, energía y mejora la capacidad de retención de nutrientes y agua del suelo (FAO, 2017).

Según otra publicación de la FAO en el 2015, una cobertura permanente protege al suelo contra el impacto de la lluvia, además proporciona a los micro y macroorganismos del suelo un suministro constante de "alimentos", también mejora la infiltración y la retención de la humedad, permite el incremento en la formación de humus, dando como resultado la reducción de la escorrentía y erosión.

3.1.2. Marco Conceptual

Para esta investigación es relevante conocer conceptos referentes al estudio de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, cuáles son sus indicadores, qué finalidad tienen y qué métodos y técnicas existen para medir las variables de dichas propiedades del suelo.

Los indicadores de calidad de este recurso permiten cuantificar su estado y obtener una medida del cambio de las condiciones del suelo por factores como el uso del mismo, patrones climáticos y sistemas de labranza (Doran & Parkin, 1994). Además Arshad y Coen (1992), expresan que estos indicadores pueden variar dependiendo de la zona, tipo, uso, función y factores de formación del suelo, por lo tanto, la elección de estos indicadores depende de los objetivos de la evaluación; no obstante, al considerar las tres propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), el estudio obtiene un valor más significativo, ya que en este interactúan distintos factores y por ende, un solo indicador no permitiría una información completa del estado del suelo tal como lo manifiesta García, y otros (2012); dicho esto, se definen a continuación los indicadores a tener en cuenta:

3.1.2.1. Indicadores de calidad del suelo

3.1.2.1.1. Indicadores físicos

De acuerdo con Rollán y otros (2004), esta clase de indicadores miden las condiciones físicas del suelo, por lo tanto, tiene en cuenta las variables de densidad aparente y real, capacidad de retención del agua, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua, conductividad hidráulica saturada (García, Ramírez, & Sánchez, 2012), entre otras.

Algunas de estas variables dependen directamente de las condiciones meteorológicas, es por eso que las variables hidrológicas del suelo requieren ser evaluadas en campo de manera periódica, tal como sucede con la valoración de pérdida del suelo por erosión, la cual se puede calcular según Rivera Peña (2008), mediante parcelas de escorrentía para así obtener la delimitación de un área representativa de estudio y medir durante cierto periodo de tiempo la cantidad de agua de escorrentía producida por las lluvias.

3.1.2.1.2. *Densidad real y aparente*

La densidad aparente refleja el contenido total de espacio poroso, el grado de compactación y circulación de agua y aire en el suelo (Gómez Giraldo, 2013). Los valores altos de densidad aparente pueden indicar que el suelo se encuentra compactado, con baja capacidad de infiltración e insuficiente aireación como para brindar un ambiente idóneo para el crecimiento y desarrollo de las plantas (FAO, 2009); no obstante, una baja densidad también puede significar que es un suelo con baja calidad (FAO, 2009), es por esto que se deben tener en cuenta demás características del suelo como el contenido de materia orgánica, la textura y estructura.

Otro tipo de densidad del suelo es la densidad real, la cual se refiere al tamaño de las partículas sólidas del suelo, mientras que la densidad aparente se encuentra relacionada con el volumen del suelo seco, el cual tiene en cuenta la fase sólida y gaseosa de este recurso (Gisbert Blanquer, Ibáñez Asensio, & Moreno Ramón).

3.1.2.1.3. *Textura*

La textura del suelo se refiere a la proporción y contenido de los distintos tipos de forma y tamaño de partículas en el suelo, como gravilla-grava (> 2 mm), arena (2 mm – 0.05 mm), limo (0.05 mm – 0.002 mm) y arcilla (< 0.002 mm) (Gómez Giraldo, 2013), siendo el suelo arenoso el más sencillo de trabajar, pero con una escasa reserva de nutrientes debido a su alta capacidad de infiltración, todo lo contrario, al suelo limoso el cual también es fácil de trabajar y además es fértil.

De acuerdo a la textura se pueden deducir ciertas características del suelo, como la capacidad de infiltración y retención de humedad, la cantidad de nutrientes y la facilidad de manejo.

Por otra parte, la textura y el tipo de cobertura vegetal son unos de los factores que afecta la escorrentía y la erosión del suelo; según Kavian, Azmoodeh y Solaimani (2011), en una superficie

con escasa cobertura, la tasa de infiltración es baja debido a la ausencia de materia orgánica, lo que ocasiona que las fracciones de arcilla sean vulnerables a los procesos de erosión. Además, la pérdida de carbono orgánico en suelos cultivados, fácilmente produce el colapso del suelo y el transporte de partículas finas por erosión.

3.1.2.1.4. Porosidad, contenido de humedad y porcentaje de aire

En el suelo se encuentran diversos elementos en fase sólida (rocas, minerales y materia orgánica), líquida (agua que llena los espacios porosos) y gaseosa (vapor de agua y aire) (Gómez Giraldo, 2013). El almacenamiento de agua y el porcentaje de aireación que posee el suelo, son factores fundamentales para el correcto crecimiento de las raíces; de esta forma se conseguiría la permanencia de la cobertura vegetal, lo cual aseguraría la conservación de humedad, disminución de impacto de lluvia y protección contra la escorrentía y la erosión hídrica (Arrieche, 2012).

3.1.2.1.5. Indicadores químicos

Según lo establecido por SQI y otros (1996), estos indicadores manifiestan los cambios de las condiciones químicas del suelo que pueden afectar la relación suelo-planta, disponibilidad de nutrientes, agua y organismos; este análisis incluye medidas de pH, salinidad, contenido de materia orgánica, concentraciones de fósforo y de elementos que pueden ser contaminantes o aquellos que las plantas requieren para su crecimiento y desarrollo.

Estas propiedades se pueden determinar mediante análisis de suelos, los cuales son evaluados a partir de una muestra compuesta por una mezcla de porciones de suelo (submuestras) recolectadas en distintos puntos del área de estudio (ICA, 1992).

3.1.2.1.6. Indicadores biológicos

Un bioindicador es “un organismo (parte de un organismo, o una comunidad de organismos) que contiene una o más piezas de información sobre la calidad del medio ambiente” (Quevauviller, 2008); siendo así, las propiedades biológicas son más difíciles de medir, predecir o cuantificar; sin embargo, se entiende que los indicadores biológicos y ecológicos de la calidad del suelo son más dinámicos que los indicadores físicos y químicos, por lo tanto, tienen mayores ventajas de mostrar señales tempranas de degradación o recuperación del suelo (Doran & Parkin, 1994). Una manera de evidenciar este suceso según Mostacedo & Fredericksen (2000), es mediante el estudio de índices de diversidad como lo son:

- **Abundancia:** Es el número de individuos de cada especie los cuales existen en un área determinada.
- **Riqueza:** Es el número de especies de un grupo determinado, ya sea de plantas, hongos, animales, etc., que se encuentran en un área determinada.
- **Diversidad de especies:** Tiene en cuenta el número de especies, al igual que el número de individuos que están presentes en un área determinada.

3.1.2.2. Factores que afectan el proceso de erosión hídrica

3.1.2.2.1. Clima

De acuerdo a UNESCO y Programa Hidrológico Internacional PHI (2010), la lluvia es una influencia directa en los procesos de erosión; su grado de impacto depende de la cantidad de agua precipitada, de la intensidad y duración de la tormenta.

De esta manera, el grado de erodabilidad en lluvias con poca intensidad, será mínimo debido a que la tasa de infiltración no alcanza a ser sobrepasada por la cantidad de agua escurrida en la superficie en un lapso corto de tiempo, además, la energía cinética del tamaño de las gotas en este tipo de tormenta, no alcanza a provocar el fraccionamiento de partículas del suelo que se encuentra sin cobertura vegetal, mientras que en una tormenta de alta intensidad, el suelo se saturará rápidamente superándose la tasa de infiltración, causando así escorrentía superficial y erosión del suelo (UNESCO & PHI, 2010).

3.1.2.2.2. Topografía

El grado de inclinación y longitud de la pendiente de un terreno, son variables que influyen en la cantidad y velocidad de la escorrentía superficial que se genera en una tormenta. También se debe tener en cuenta la forma de la pendiente (Figura 2), ya que, según Terrence y otros (2002), esta tiende a cambiar a medida que varía el grado de inclinación del terreno. Las tasas de erosión cambian de acuerdo a la forma de la pendiente, dado que, dependiendo de los cambios topográficos, el agua escurrida adopta cierta velocidad, lo que puede provocar el desprendimiento de partículas del suelo que podrían no requerir de gran cantidad de energía cinética para seguir en movimiento (UNESCO & PHI, 2010).

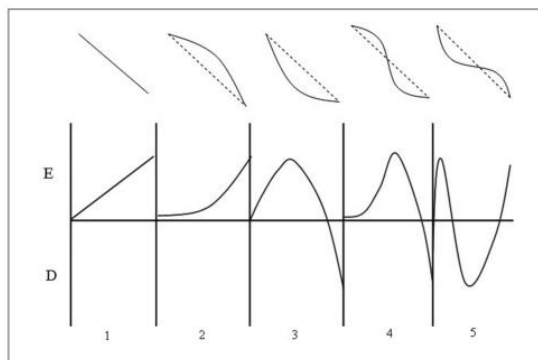


Figura 2. Variaciones en las tasas de erosión E y deposición D, según los cambios topográficos a lo largo de una pendiente. (Fuente: Terrence & otros., 2002).

3.1.2.2.3. *Vegetación y uso del suelo*

Otros factores que influyen notablemente en la erosión hídrica, es el nivel de protección que posee el suelo por la cobertura vegetal y el uso que se le da a la tierra; la generación de sedimentos y erosión puede variar dependiendo del manejo del suelo; las actividades agropecuarias y urbanas producen procesos de erosión acelerada, debido a la compactación y la remoción de materia orgánica y cobertura vegetal (UNESCO & PHI, 2010).

3.1.2.3. *Factores y parámetros hidrológicos*

3.1.2.3.1. *Precipitación*

Esta variable meteorológica es de gran relevancia en el proceso de erosión hídrica, es un factor responsable de este tipo de degradación del suelo, debido a que la intensidad, duración, frecuencia y energía cinética de las gotas precipitadas, se relacionan directamente con la saturación de agua en el suelo y el volumen de escorrentía.

La precipitación al superar la capacidad máxima de infiltración del suelo, causa el desprendimiento de partículas finas de suelo (arcilla) y el transporte de nutrientes que las plantas requieren para su respectivo crecimiento (UNESCO & PHI, 2010).

3.1.2.3.2. *Infiltración*

La infiltración es un componente del ciclo hidrológico que ocurre después del proceso de precipitación, y se refiere a la penetración del agua en el suelo, ocupando lo más posible los espacios porosos a una velocidad conocida como capacidad de infiltración; el agua se transporta hacia el interior del suelo hasta que alcanza la tasa de infiltración y se satura completamente

(Maderey Rascon, 2005). Esta capacidad de infiltración depende del tipo de suelo, y genera impactos ambientales positivos cuando presenta una alta capacidad; permite un óptimo almacenamiento de humedad, aprovechamiento de la reserva de agua para las plantas, y la evaporación en la superficie del suelo (Maderey Rascon, 2005).

3.1.2.3.3. Escorrentía superficial

La escorrentía es el agua que escurre por la superficie del suelo debido a la intensidad de lluvia en un largo periodo de tiempo, a su topografía, cobertura y demás características del suelo. Son diversos los factores que influyen en la saturación de agua en el suelo y la generación de escorrentía.

Esta variable hidrológica produce impactos ambientales tanto positivos como negativos. La escorrentía al ser un proceso del ciclo hidrológico, cumple la función de transportar el agua precipitada que el suelo no infiltró, hacia afluentes y así, continuar su respectivo ciclo natural; no obstante, este escurrimiento de agua puede llevar consigo contaminantes derivados de agroquímicos o desechos animales producto de actividad ganadera, generando eutrofización, contaminación de aguas y riesgo de pérdida de biodiversidad acuática (Matthews & FAO, 2006). En cuanto al recurso suelo, la escorrentía puede generar pérdida de fertilidad del suelo y procesos de erosión (Gayoso Aguilar, 1995).

3.1.3. Marco Legal

3.1.3.1. Constitución Política de Colombia 1991

En el artículo 80 de la Constitución política, se le confiere al Estado la obligación de planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; además de esto, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados (Alcaldía de Bogotá, 1991).

3.1.3.2. Ley 99 de 1993

Por medio de esta ley se establece que, las Corporaciones Autónomas Regionales tienen la función de otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales requeridas por la ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el

desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar el medio ambiente (Alcaldía de Bogotá, 1993).

3.1.3.3. Ley 388 de 1997 y ley 507 de 1999 (modificación de Ley 388 de 1997)

Según el artículo 6 de la presente ley, el objetivo del plan de ordenamiento municipal y distrital es complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre territorio y orientar su desarrollo sostenible mediante estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo, en función de los objetivos económicos, urbanísticos y ambientales (Alcaldía de Bogotá, 1997).

3.1.3.4. Decreto 2811 de 1974

Dentro del decreto del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, se encuentra el componente de “La Tierra y los suelos” (parte VII), el cual establece los principios generales respecto al uso del suelo para actividad agrícola.

El uso potencial de los suelos de Colombia se debe determinar según sus factores físicos, ecológicos y socioeconómicos, teniendo en cuenta dichos componentes, se clasificarán los suelos. También estipula que, *“las personas que realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de infraestructura, que afecten o puedan afectar los suelos, están obligados a llevar a cabo las prácticas de conservación y recuperación que se determinen de acuerdo con las características regionales”* (Alcaldía de Bogotá, 1974).

4. Capítulo IV

4.1. Metodología

La selección de la ubicación de las parcelas de escorrentía, toma de datos de la capacidad de infiltración y de las submuestras del suelo para el análisis del mismo, se realizó de forma estratégica para evitar zonas próximas a cercas, caminos, vías y canales, ya que se debían tomar puntos representativos de las zonas de estudio y evitar obtener datos con mayor sesgo en las variables a estudiar.

Por otra parte, teniendo en cuenta los tipos de mediciones y análisis realizados, esta metodología se definió como experimental cuantitativa y cualitativa.

4.1.1. Hipótesis

El cambio de uso del suelo de una actividad ganadera a una actividad agrícola centrada en cultivo perenne de cítricos mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

4.1.2. Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se conformó por cuatro zonas, donde las zonas dos, tres y cuatro presentaban actividad ganadera años atrás, mientras que a la zona uno no se le daba ningún tipo de uso; las zonas uno, dos y tres se encontraban ubicadas en el predio San Francisco y la zona cuatro en el predio La Palmita:

Zona uno (bosque secundario): Es el área boscosa que actualmente no tiene ningún uso de tipo productivo (6,2 Ha de área); esta zona representó las condiciones óptimas que el suelo puede adquirir al no haber estado intervenida en el pasado por alguna actividad antropogénica.

Zona dos (barbecho): Es el área que no cuenta con algún uso del suelo desde la última década y cuenta con un área 0,37 Ha.

Zona tres (cítricos): Es el área que actualmente tiene una finalidad de tipo agrícola y está conformada por 6,56 Ha divididas en tres zonas de cultivo de cítricos, de las cuales se estudió únicamente una de las zonas de cultivo la cual cuenta con 3,76 Ha.

Zona cuatro (ganadería): Es el área total del predio La Palmita (0,84 Ha de área) el cual se encuentra a una distancia de 1,77 km de las demás zonas de estudio; presenta procesos de degradación y erosión por cárcavas, teniendo actualmente una finalidad de tipo ganadera.

La investigación se desarrolló en cuatro fases (ver figura 3):

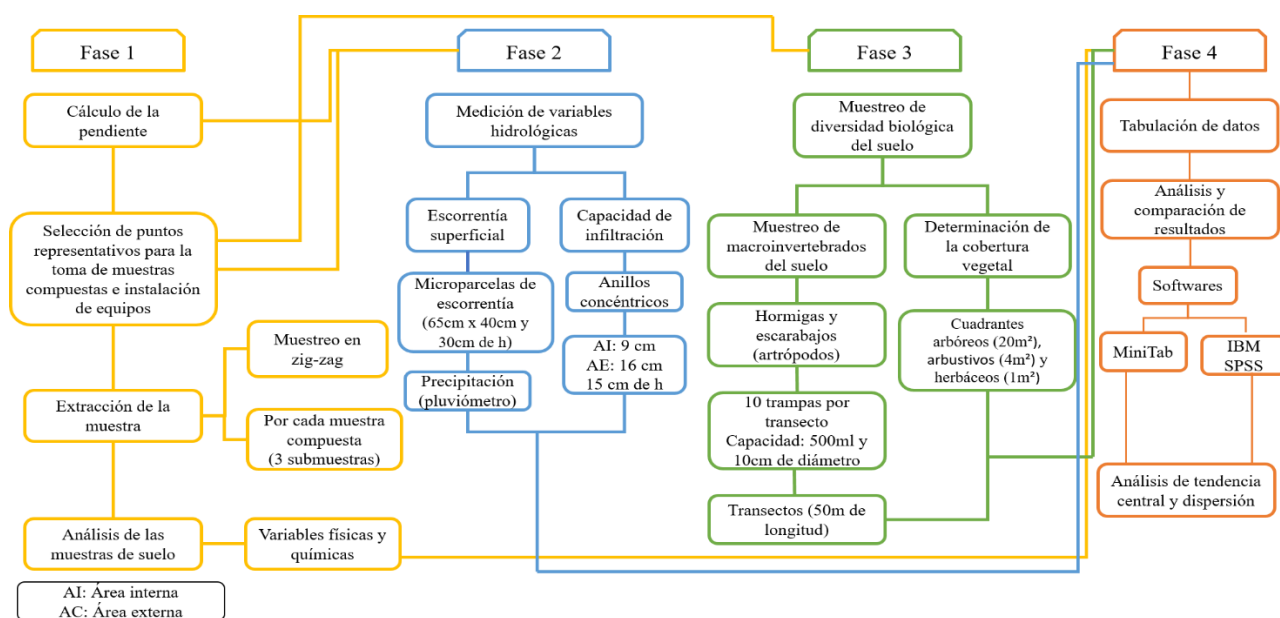


Figura 3. Diagrama metodológico para la toma y procesamiento de datos. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

4.1.3. Fase 1. Identificación de las Propiedades Físicas y Químicas del suelo.

En esta etapa inicialmente se determinó la pendiente promedio de cada zona de estudio y el porcentaje de inclinación de los puntos seleccionados para toma de muestra de suelos e instalación de las parcelas de escorrentía, dado que la pendiente es una característica topográfica que se debe considerar para seleccionar dicha área de instalación y a sí mismo, los puntos de toma de muestra de suelo.

En cuanto a las variables evaluadas dentro del componente físico y químico por medio del análisis de cada una de las muestras extraídas del suelo, fueron densidad aparente y real, porcentaje de aire, textura (mediante método organoléptico), contenido de humedad, porosidad, contenido de materia orgánica, pH, Contenido de Fósforo disponible y capacidad de intercambio catiónico (K, Ca, Na, Mg).

4.1.3.1. Cálculo de pendiente

El cálculo de la pendiente se realizó mediante el método geométrico; para esto se utilizaron como instrumentos un nivel de burbuja para cordel, cuerda, cinta métrica y estacas; estas herramientas permitieron obtener la distancia horizontal paralela al suelo y la diferencia de altura de dos puntos, para así obtener el porcentaje de inclinación del terreno en el que se encontraba cada parcela.

$$\% \text{ Pendiente} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \times 100$$

Ecuación 1. Porcentaje de pendiente

$\Delta y = \text{Diferencia de altura}$

$\Delta x = \text{Distancia horizontal}$

Una vez seleccionado el terreno de la parcela, se situaron dos estacas como referencia, la primera en un punto alto y la segunda en un punto bajo, es decir con menor altura, luego se procedió a nivelar la cuerda que se encontraba sujeta desde el punto más alto y se midió la altura que alcanzaba hasta el segundo punto.

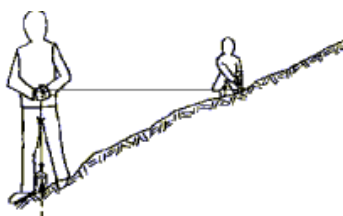


Figura 4. Ilustración de medición de pendiente en el terreno. (Fuente: Ramón Pérez, J., s.f.).

4.1.3.2. Extracción de muestra de suelo para análisis físico

Respecto a la obtención de muestras de suelo para hallar la densidad aparente y real, porosidad, contenido de humedad y aire, se tuvo en cuenta el *Manual de prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos* (2013) elaborado por el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Esta práctica de campo y laboratorio para el análisis físico, se realizó dos veces, ya que entre el valor

exacto de una magnitud y el valor que se obtiene al realizar la medición, puede existir un error de medición o incertidumbre (Perez Montiel, 2015), por lo que era recomendable realizar mínimo dos mediciones para que los datos tuvieran mayor validez.

4.1.3.2.1. *Cálculo de densidad aparente (método del cilindro) y contenido de humedad*

La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro el cual tiene como objetivo conocer la masa y volumen de una muestra indisturbada de suelo para calcular la densidad aparente. Para hallar este tipo de densidad y la cantidad de agua que contiene el suelo, primero se pesaron los cilindros vacíos, luego se removió un fragmento de la superficie del suelo y se enterraron tres cilindros metálicos de 5cm de altura y 2,5 cm de radio (volumen de 98,17 cm³) en cada zona de estudio; inmediatamente se extrajeron y con un cuchillo se eliminó el suelo que sobresalía de ambos lados de los cilindros. Las muestras se pesaron para obtener el valor de peso del suelo húmedo, se introdujeron en un horno de secado a 110°C por 24 horas y se volvieron a pesar para tener el peso de suelo seco. Por último, se aplicó la ecuación 2 para hallar densidad aparente, y la ecuación 3 para hallar el contenido de humedad.

$$\rho a = \frac{\text{Peso suelo seco}}{\pi \times r^2 \times h}$$

Ecuación 2. Densidad aparente

$$\% \text{Agua} = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Ecuación 3. Contenido de humedad

Donde:

PSH= Peso suelo húmedo sin peso de anillo

PSS= Peso suelo seco sin peso de anillo

4.1.3.2.2. *Cálculo de densidad real (método del picnómetro)*

Se pesaron tres picnómetros vacíos de 25 ml con tapa, luego se agregaron en cada uno 10g de muestra de suelo secado al aire y agua destilada hasta la mitad del volumen del picnómetro. Se pesaron de nuevo y se procedió a calentarlos hasta bullir en una plancha de calentamiento. Después, se agregó agua destilada previamente hervida y enfriada hasta llenar completamente los picnómetros; se colocaron las tapas y se pesaron de nuevo los picnómetros.

Por último, se removió todo el contenido de los picnómetros, se llenaron completamente de agua destilada hervida, se pesaron y se midió la temperatura del agua utilizada. Este método permitió recoger los datos suficientes para hallar la densidad real con la ecuación 4.

$$Dr = \frac{Dw \times (Ws - Wa)}{(Ws - Wa) - (Wsw - Ww)}$$

Ecuación 4. Densidad real

Donde:

Dr=Densidad real

Wa=Peso del picnómetro vacío

Dw=Densidad del agua a la temperatura observada

Wsw=Peso del picnómetro más suelo más agua

Ws=Peso del picnómetro más el suelo

Ww=Peso del picnómetro más agua

Para el valor de Dw, se tuvo en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 1.

Factores para la corrección de la densidad del agua.

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/ml)
18	0,99897
20	0,99862
22	0,99823
24	0,99780
26	0,99732
28	0,99681

Nota: Valores de densidad del agua según la temperatura. Adaptado del Manual SENA (Gómez Giraldo, 2013).

4.1.3.2.3. Cálculo de porosidad total

Para el cálculo de porosidad se aplicó la ecuación 5 la cual tiene en cuenta los resultados de las densidades real y aparente obtenidas.

$$P = \left(1 - \frac{\rho_a}{Dr}\right) \times 100$$

Ecuación 5. Porosidad total

Donde:

P=Porosidad total

ρ_a = Densidad aparente

D_r =Densidad real

4.1.3.2.4. Cálculo de porcentaje de aire

Para calcular el porcentaje de aire que contiene el suelo de cada zona de estudio, se agregó un determinado volumen de suelo en una probeta (V_s) y un volumen de agua aproximadamente igual al del suelo (V_{H_2O}), luego se procedió a agitar el contenido de la probeta hasta eliminar el aire que contenía el suelo en sus poros obteniendo así un volumen final (V_F). Finalmente se calculó el porcentaje de aire aplicando la ecuación 6.

$$\% \text{Aire} = \frac{(V_t + V_{H_2O}) - V_F}{V_t} \times 100$$

Ecuación 6. Contenido de aire

Donde:

V_s =Volumen de suelo

V_{H_2O} =Volumen de agua

V_F =Volumen final

4.1.3.3. Extracción de muestra de suelo para análisis químico

Se consideró la metodología e indicaciones establecidas por Corpoica en el manual *Guía toma de muestra de suelo* (2013), el cual describe la manera adecuada de tomar muestras de suelo que cumplan con las condiciones para realizar el análisis físico-químico.

En cada zona de estudio se tomó una muestra compuesta conformada por tres submuestras, obtenidas en cada parcela de escorrentía.

En cada punto de toma de submuestras, se rasparon 3 cm de la superficie del terreno para limpiar y evitar recoger materia orgánica (hojarasca, raíces) o residuos de la zona; después, con un barreno se cavó un hueco y se extrajo una porción del suelo el cual se depositó en un balde de plástico limpio libre de cualquier impureza. Este procedimiento se repitió en cada uno de los puntos; al finalizar la toma de las submuestras se procedió a tamizar la tierra con un tamiz de 5mm para separar las piedras y raíces de las submuestras obtenidas. Posterior a esto, se mezcló el suelo

extraído de tal forma que quedara lo más homogéneo posible, luego se tomó 1 kilogramo de la muestra y se depositó en una bolsa hermética previamente etiquetada.

4.1.4. Fase 2. Medición de Variables Hidrológicas

La medición de las variables hidrológicas se apoyó en la metodología del SENA para realizar los cálculos de capacidad de infiltración, establecidos en el *Manual de prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos* (2013) y conjuntamente, se tuvo en cuenta la metodología que utiliza Ney Ríos (2006) respecto a la medición de escorrentía superficial.

Además de haber realizado mediciones de las variables anteriormente mencionadas, se tuvo en cuenta la variable meteorológica de precipitación, la cual se calculó ubicando un pluviómetro cerca a cada parcela de escorrentía.

4.1.4.1. Medición de escorrentía superficial, erosión y toma de datos de precipitación

En cada zona de estudio se realizaron dos tomas de muestra mediante microparcels de escorrentía y precipitaciones naturales, utilizando en total doce microparcels de polietileno; según N.W. Hudson (1997), esta metodología es económica, sencilla y adecuada para demostrar y obtener cifras de la diferencia de escorrentía en superficies con distinta cobertura, o para evidenciar el efecto que puede tener la pendiente respecto a la erosión del suelo.

Las microparcels de escorrentía tenían dimensiones de 65 cm x 40 cm y 30 cm de altura (15 cm enterrados en el suelo y 15 cm sobre la superficie). Cada parcela se encontraba unida mediante una tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro, a un recipiente colector con capacidad de 16 galones, para almacenar los sedimentos y agua escurrida producto de las lluvias.

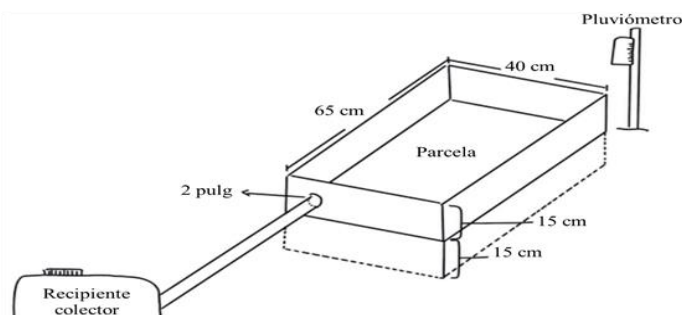


Figura 5. Diseño y dimensiones de parcela de escorrentía. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Las muestras recolectadas en las canecas se midieron una vez cada ocho días durante dos semanas en el mes de diciembre del año 2017. La toma de datos de precipitación y la recolección de muestras, se realizó en horas de la madrugada; el agua almacenada en las canecas se recogió en envases plásticos con capacidad de 3,5 litros, luego se midió el volumen de agua escurrida en cada microparcela y se pesó el material erosionado antes y después de haberse evaporado y secado para ser cuantificado en kilogramos y dividido por el área efectiva, tal como se expresa en la ecuación 7, obteniendo de esta manera la pérdida de suelo expresada en kilogramos por hectárea. Asimismo, se midió la cantidad de agua que cayó en las parcelas mediante la ecuación 8, el agua escurrida y por último, el porcentaje de escorrentía utilizando la fórmula 9.

$$PS = \frac{SE}{A}$$

Ecuación 7. Pérdida de suelo

Donde:

PS=Pérdida de suelo en área efectiva (kg/ha)

SE=Suelo erosionado (kg.)

A=Área efectiva (ha)

$$ACP = A(m^2) \times \frac{Pp(mm)}{1000(m)} \times 1000(L)$$

Ecuación 8. Agua total caída en la parcela

Donde:

ACP=Agua caída en parcela (L)

A=Área (m²)

Pp=Precipitación (mm)

$$\%E = \frac{AE}{ACP} \times 100$$

Ecuación 9. Escorrentía superficial

Donde:

%E=Porcentaje de escorrentía/escurrimiento

AE=Agua escurrida en la parcela de escorrentía (L)

ACP=Agua caída en parcela (L)

4.1.4.2. Medición de la capacidad de infiltración

Mediante un infiltrómetro de doble anillo, se saturó una porción del suelo instalando un anillo concéntrico interno de 9 cm de diámetro, y un anillo concéntrico exterior de 16 cm de diámetro,

ambos con una altura de 15 cm. Estos anillos se ubicaron lo más cerca posible a las parcelas de escorrentía las cuales se encontraban instaladas en la parte superior, media y baja de cada una de las cuatro zonas de estudio, en un sitio que no tuviera suelos compactados por el paso de vehículos o de personas.

Los anillos se enterraron en el suelo de tal forma que quedaran nivelados y centrados entre ellos, y que no se encontraran sobre una superficie con raíces o rocas, ya que esto podía alterar la infiltración vertical. Después de ubicarlos, se llenaron de agua ambos anillos (primero el anillo exterior); la metodología consistió en mantener el mismo nivel de agua en los 2 cilindros, de tal manera que no sobrepasaran los 10 cm de altura y que tuvieran a su vez como mínimo 5 cm de la misma; luego, en intervalos de tiempo se midió con una cinta métrica el nivel de la lámina de agua del anillo interior para así determinar la velocidad instantánea (ecuación 10) y la tasa de infiltración del suelo mediante el modelo de Kostiakov (ecuación 11).

Ecuación de velocidad de infiltración instantánea:

$$VI = \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

Ecuación 10. Velocidad de infiltracion

Donde:

VI=Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)

ΔI = Diferencial de lectura de agua infiltrada (cm)

ΔT =Diferencial de tiempo (h)

La ecuación de Kostiakov se aplicó en forma de $Y=A+BX$, para convertirla de forma exponencial a lineal (Gómez Giraldo, 2013):

$$\mathbf{LogI = LogK + a LogT}$$

Ecuación 11. Modelo Kostiakov

Donde:

$Y=LogI$

$A=LogK$ ($K= 10^A$)

$B=a$

$X=LogT$

$$I = K \times t^a$$

Ecuación 12. Modelo Kostiakov para determinar velocidad de infiltracion

Donde:

I=Infiltración acumulada

K=Constante hallada anteriormente (K=Antilog A)

t=Tiempo de infiltración

a= Constante dependiente del suelo (varía de 0 a 1)

Los valores A y B se hallaron con las siguientes fórmulas:

$$A = \frac{\sum X \times \sum XY - \sum X^2 \times \sum Y}{(\sum X)^2 - m \sum X^2}$$

Ecuación 13. Cálculo valor A modelo de Kostiakov

$$B = \frac{\sum X \times \sum Y - m \sum XY}{(\sum X)^2 - m \sum X^2}$$

Ecuación 14. Cálculo valor B modelo de Kostiakov

4.1.5. Fase 3. Muestreo para Propiedades Biológicas del Suelo

Se cuantificó la diversidad de macroinvertebrados del suelo y la cobertura vegetal para correlacionar la presencia y ausencia de individuos con las condiciones físicas y químicas de cada zona de estudio.

4.1.5.1. Muestreo de macroinvertebrados del suelo

La caracterización se realizó a través de un estudio de presencia de artrópodos (hormigas y escarabajos). Estos individuos pertenecen al grupo de organismos clasificados como indicadores de diversidad y se pueden tener en cuenta para evaluar los efectos ocasionados en un ecosistema por actividades antrópicas debido a la contaminación, fragmentación y usos del suelo (Villareal, et al., 2004).

Para dicha caracterización se utilizó la metodología propuesta por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en su publicación *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad* (2004), en la cual se plantean los distintos métodos de

captura que existen para individuos artrópodos. Esta toma de muestras se adaptó a las condiciones y disponibilidad del área de estudio utilizando el método de trampas de caída.

Para cada zona de estudio se instaló un transecto lineal con 50 m de longitud, en el que se ubicaron trampas cada cinco metros para obtener de esta manera 10 trampas; se dejaron durante 24 horas en campo, luego se recogieron los individuos que cayeron y se cambiaron los cebos.

Estas trampas se enterraron al nivel del suelo y estuvieron conformadas por un recipiente de una onza en el que se depositaban los cebos (atún y fruta), y un recipiente plástico con capacidad de 16 oz y 10 cm de diámetro, el cual contenía etanol al 70 %, agua y detergente hasta la mitad de su capacidad.

Con los datos obtenidos se calculó la abundancia relativa de individuos y la densidad poblacional de acuerdo al método de King para transectos lineales (ecuación 15), en cada zona de estudio para así comparar su variación.

$$\text{Densidad} = \frac{N}{2 \times X \times Y}$$

Ecuación 15. Cálculo Densidad poblacional

N=Número de individuos observados

X=Longitud del transecto

Y=Media de distancia entre observador-individuos

4.1.5.2. Determinación de porcentaje de cobertura vegetal

Una manera de documentar la estructura de vegetación de una zona para determinar su cobertura, es mediante la metodología establecida por Mostacedo & Fredericksen (2000) en el *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*; estas técnicas de toma de datos propuestas se tuvieron en cuenta para el estudio de la abundancia y densidad de cobertura vegetal de cada zona de estudio.

El muestreo de vegetación se realizó mediante cuadrantes, los cuales tuvieron dimensiones de 1 m² para el conteo de herbáceas, 20 m² para la vegetación arbórea con DAP >10 cm, y 4 m² para arbustivos. Con los datos obtenidos se determinó la densidad (ecuación 17) y cobertura relativa (ecuación 18).

$$DAP = \frac{C}{\pi}$$

Ecuación 16. Cálculo DAP

DAP= Diámetro a la altura del pecho (cm)

C=Circunferencia del tronco a 1,3 m de altura (cm)

$\pi= 3.14159226$

$$D = \frac{N}{A}$$

Ecuación 17. Cálculo Densidad de individuos

D=Densidad de individuos en un área determinada

N=Número de individuos

A=Área

$$Cr = \left(\frac{Ni}{Nt} \right) \times 100$$

Ecuación 18. Cobertura relativa

Cr=Cobertura relativa

Ni=Número de registros de plantas de cierta forma de vida

Nt=Número total de registros de plantas

4.1.6. Fase 4. Tabulación, Análisis de Resultados y Comparación de Condiciones del Suelo

La comparación del estado y las condiciones del suelo entre las zonas de estudio, permitieron definir el tipo de influencia que presenta la técnica de producción agrícola de cultivos perennes cítricos en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo; se compararon las condiciones de la zona tres (cultivo de cítricos), con las zonas uno, dos y cuatro.

Los datos se registraron y ordenaron por medio de los softwares IBM SPSS Statistics y Minitab, y se procedió a analizar herramientas estadísticas de tendencia central y de dispersión (máximos, mínimos, media, varianza, desviación estándar, correlación, regresión), para así caracterizar los suelos de cada zona de estudio. Se correlacionaron variables para determinar si existe algún tipo de relación entre variables biológicas y variables fisicoquímicas.

Por último, los promedios y resultados de las variables físicas, químicas y biológicas de las zonas dos, tres y cuatro, fueron comparados por los resultados obtenidos sobre las condiciones del suelo en la zona uno, tomando estos valores como el 100 %.

A continuación, se presenta en la tabla 2 las metodologías utilizadas para la obtención de cada variable y el número de toma de datos.

Tabla 2.

Variables físicas, químicas y biológicas a evaluar.

Variables		Metodologías	Áreas de muestreo			
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Físicas-hidrológicas	Esorrentía superficial	Parcelas de esorrentía	3	3	3	3
	Capacidad infiltración	Anillos concéntricos				
	Precipitación	Pluviometría				
	Densidad aparente	Anillo biselado				
	Densidad real	Picnómetro				
	Porosidad	Anillos y picnómetros				
Químicas	Contenido de M.O. pH	Análisis de muestra de suelo	1	1	1	1
	Fósforo disponible					
	Capacidad de intercambio catiónico (K, Ca, Na, Mg)					
Biológicas	Diversidad de artrópodos (hormigas y escarabajos)	Por transectos	2	2	2	2
	Cobertura vegetal	Caracterización por cuadrantes				

Nota: Número de toma de muestras para las variables físicas, químicas y biológicas del suelo en cada zona de estudio. (Fuente: Elaboración propia, 2018).

5. Capítulo V

5.1. Resultados y Análisis de resultados

La toma de datos de las propiedades físico-químicas y de los parámetros hidrológicos, se realizó en el mismo sitio donde se instalaron las parcelas de escorrentía, las cuales se ubicaron a distintas alturas sobre el nivel del mar (ver figura 6); por otro lado, el muestreo de las propiedades biológicas se realizó sobre los transectos de 50 metros de longitud ubicados en cada zona de estudio. Como se observa en la figura 6 respecto a los gráficos de altura sobre el nivel del mar en la que se encontraba cada parcela de escorrentía, las zonas uno, dos y tres presentan alturas similares, entre un rango de 580 m.s.n.m. y 593 m.s.n.m., mientras que la zona cuatro tiene una altura máxima de 500 m.s.n.m.

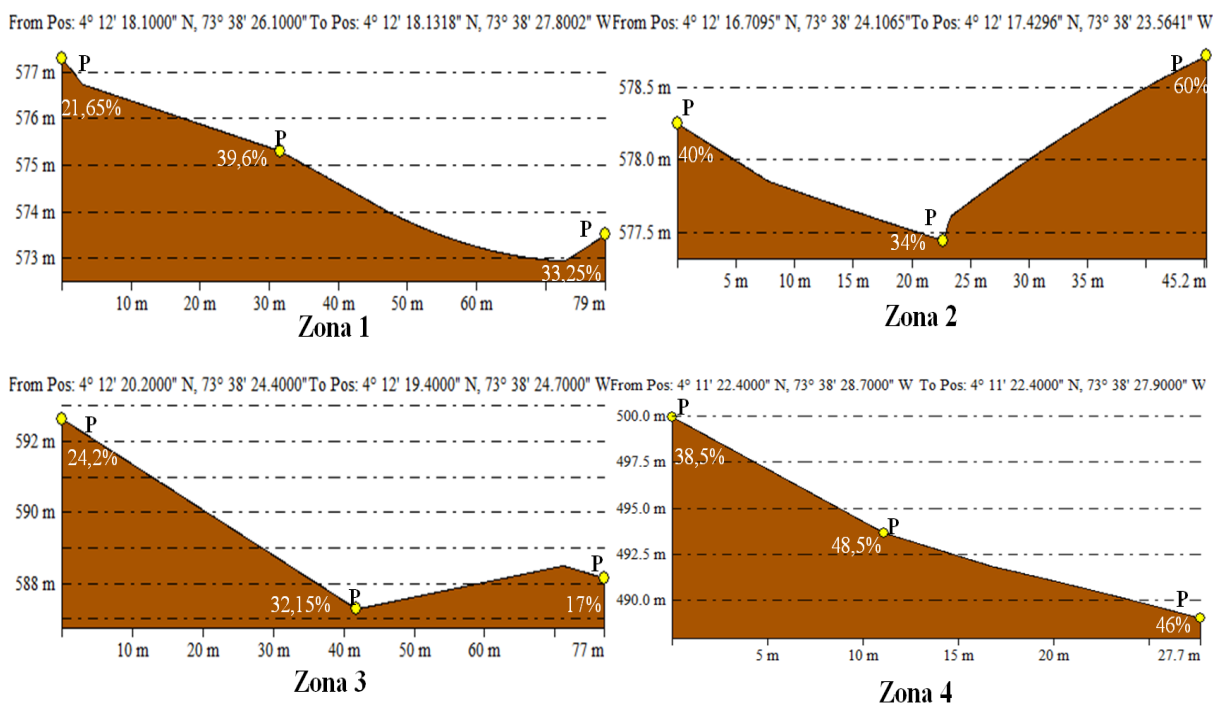


Figura 6. Perfil de pendiente de los puntos de toma de datos para la evaluación de las condiciones físicas e hidrológicas de las zonas de estudio en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Donde: P=Porcentaje de pendiente y ubicación de parcelas de escorrentía; Zona 1= Bosque secundario; Zona 2=Barbecho; Zona 3=Cultivo de cítricos. Realizado por medio del software Global Mapper. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

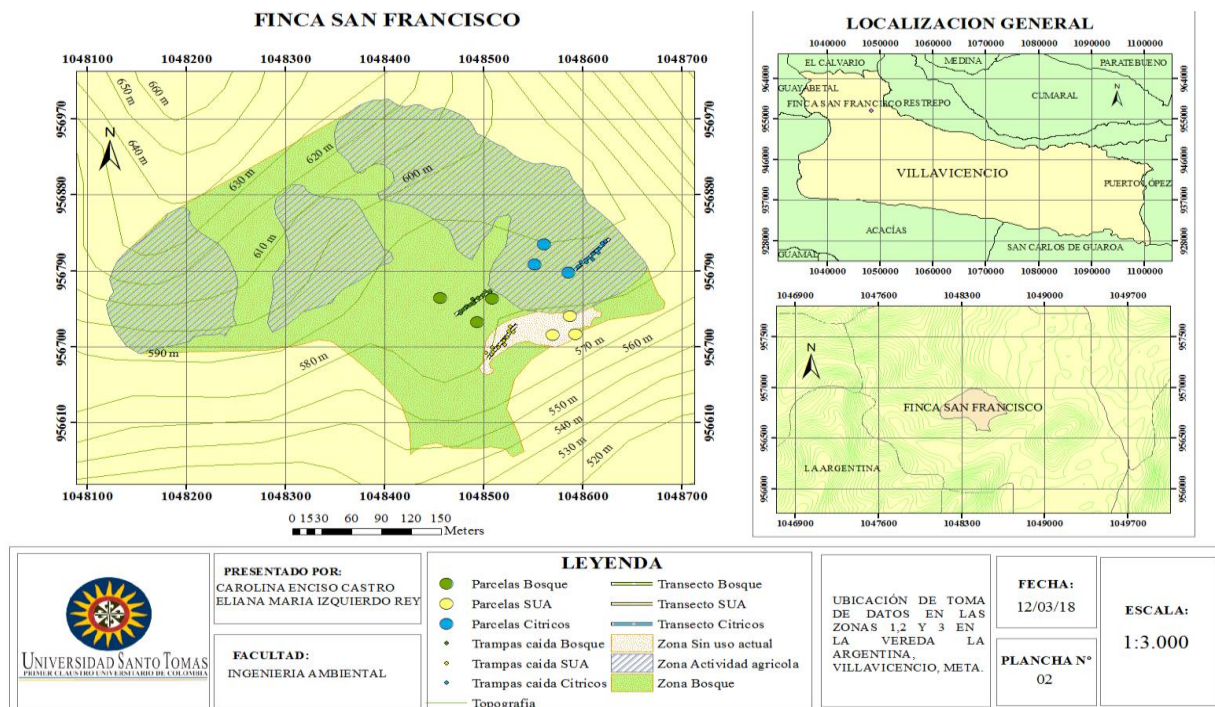


Figura 7. Ubicación de los puntos de toma de datos para la evaluación de las condiciones del suelo de las zonas 1, 2 y 3 en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Donde: Zona 1= Bosque secundario; Zona 2=Barbecho; Zona 3=Suelo con cultivo de cítricos. Realizado por medio del software ArcGis 10.1. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

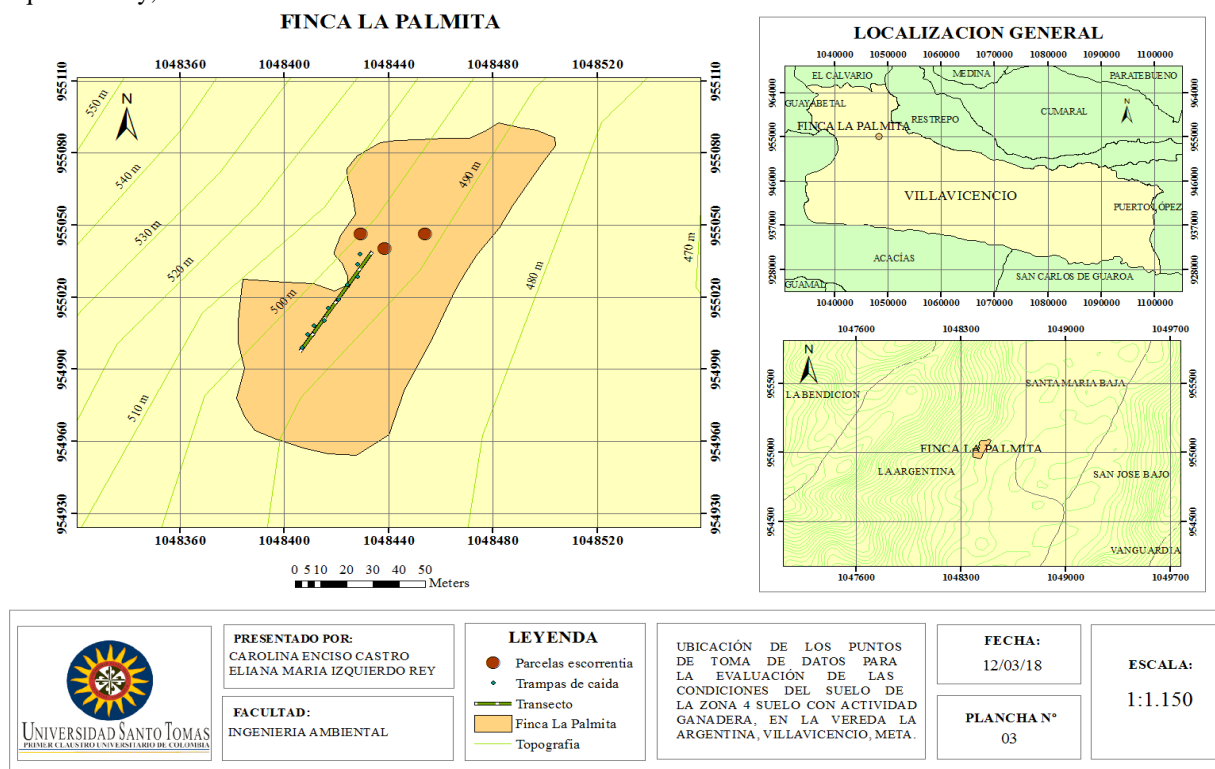


Figura 8. Ubicación de los puntos de toma de datos para la evaluación de las condiciones del suelo de la zona 4 Suelo con actividad ganadera, en la Vereda La Argentina, Villavicencio, Meta. Realizado por medio del software ArcGis 10.1. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Zona uno (bosque secundario): Se encuentra en el predio San Francisco; presenta un área de 6,2 Ha y una pendiente promedio de 35,8 %, el suelo es franco-arcilloso y fuertemente ácido, con un pH de 4,7; se caracteriza por tener una alta densidad arbórea de 296 individuos por hectárea y 1875 individuos arbustivos por hectárea; no obstante, en comparación con la presencia de individuos de otras forma de vida, el 96 % de su cobertura vegetal es herbácea, con una densidad promedio de 583 individuos por m² (ver tabla 3).

Tabla 3.

Densidad de cobertura vegetal en la zona de bosque secundario

	D. Arbórea	% Cr	D. Arbustiva	% Cr	D. Herbácea	% Cr
Muestreo 1	0,60	3,17	0,63	0,53	455,33	96,30
Muestreo 2	0,88	2,98	0,87	0,47	712	96,54

Nota: Descripción de cobertura vegetal en bosque secundario. Donde: D=Densidad; Cr=Cobertura. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Además de ello, como se observa en la tabla 4 este sistema en su caracterización de variables físicas presentó una baja densidad aparente en el tratamiento tres (1,46 g/cm³), lo cual influye en un mayor porcentaje de porosidad (32,58 %), aire (54 %) y humedad (62,11 %), asimismo, el promedio de las densidades real (2,25 g/cm³) y aparente (1,69 g/cm³) manifiesta que se cuenta con una alta cantidad de agregados en el área boscosa y esto se debe a la poca intervención por actividades intensivas que se ha ejercido sobre esta zona, lo cual permite el desarrollo de un suelo con condiciones estables.

Tabla 4.

Propiedades físicas del suelo en la zona de bosque secundario

	D. real (g/cm ³)		D. aparente (g/cm ³)		% Porosidad		% Humedad		% Aire	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
T 1	2,37	2,22	1,68	1,66	29,35	25,04	48,87	45,91	50,00	50,00
T 2	2,17	2,17	1,79	1,73	17,45	20,32	42,27	37,62	54,00	50,00
T 3	2,17	2,37	1,46	1,84	32,58	22,28	62,11	33,04	54,00	55,00

Nota: Valores de propiedades físicas en cada toma de muestra en bosque. Donde: T=Tratamiento. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Por otro lado, el sistema boscoso presentó un porcentaje de materia orgánica medio según los resultados químicos obtenidos, presentando una alta mineralización, permitiendo así, la rápida

descomposición de materia orgánica debido al aporte eficiente de nutrientes en el suelo y a la baja relación entre el carbono orgánico y el nitrógeno, también se encontró que, el aluminio es bajo (1,5 meq/100g) y por ello no es un limitante en el crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal (ver tabla 5).

Tabla 5.

Propiedades químicas del suelo en la zona de bosque secundario

	% M.O.	P ppm	pH	Al	N total	C.O	C/N	CIC
	meq/100g							
Zona 1	2,60	181,20	4,70	1,50	0,13	0,07	0,53	2,01

Nota: Valores de propiedades químicas en bosque. Donde: M.O.=Materia orgánica; P=Fósforo; pH=Potencial de Hidrogeno; Al=Aluminio; N=Nitrógeno; C.O.=Carbono orgánico; CIC=Capacidad de intercambio catiónico. Resultados obtenidos del Laboratorio de suelos Universidad de los Llanos. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Según la tabla 6 este sistema también cuenta con una densidad de macroinvertebrados alta en comparación a los demás sistemas, estos organismos se desarrollan según las condiciones del suelo y las propiedades o funcionalidad de la cobertura vegetal; para el área boscosa se cuenta con un total promedio de 123 individuos de himenópteros por m² y 1 individuo de coleópteros por m². La importancia de la cantidad de mesofauna radica en la relación que tienen dichos bioindicadores con otras variables, ya que de ellos depende la estructura, textura, porosidad y demás características del suelo.

Tabla 6.

Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de bosque secundario

	D. Hymenoptera	D. Coleoptera
Muestreo 1	0,79	0,01
Muestreo 2	1,68	0,02

Nota: Densidad de hormigas y escarabajos en bosque. Donde: D=Densidad. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Zona dos (barbecho): Se encuentra en el predio San Francisco y cuenta con un área de 0,37 Ha; este sistema tiene un suelo con textura franca y pendiente escarpada del 32 %. En cuanto a su cobertura vegetal, se pueden encontrar entre 32 hasta 48 árboles por Ha, 1093 individuos arbustivos por Ha y 561 individuos de herbáceas por m² (ver tabla 7).

Tabla 7.
Densidad de cobertura vegetal en la zona de barbecho

	D. Arbórea	% Cr	D. Arbustiva	% Cr	D. Herbácea	% Cr
Muestreo 1	0,08	0,31	0,37	0,23	652	99,47
Muestreo 2	0,12	0,63	0,50	0,42	470,67	98,95

Nota: Descripción de cobertura vegetal en barbecho. Donde: D=Densidad; Cr=Cobertura. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Según los resultados obtenidos en la caracterización física del sistema barbecho (ver tabla 8), el tratamiento uno obtuvo una mayor densidad respecto a los demás, sin embargo, el sistema maneja condiciones similares en cada uno de los tratamientos evaluados, además de ello, esta alta densidad puede deberse a un nivel de compactación, influyendo también en los bajos niveles de humedad (36,06 %) y porosidad (4,35 %).

Tabla 8.
Propiedades físicas del suelo en la zona de barbecho

	D. real (g/ cm ³)		D. aparente (g/cm ³)		% Porosidad		% Humedad		% Aire	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
T 1	2,08	1,99	1,99	1,81	4,35	9,40	36,06	35,08	58,00	55,00
T 2	1,81	1,85	1,60	1,67	11,69	9,32	59,11	40,85	50,00	52,50
T 3	2,17	2,32	1,83	1,71	15,34	26,39	40,59	40,18	46,00	58,75

Nota: Valores de propiedades físicas en cada toma de muestra en barbecho. Donde: T=Tratamiento. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

A partir de los resultados del análisis químico, se puede evidenciar en la tabla 9 que la zona de barbecho cuenta con un bajo potencial de retención e intercambio de nutrientes (CIC: 1,31 meq/100g) el cual depende del aporte o contenido de materia orgánica (2,6 %), correspondiendo a un nivel medio permitiendo así que la mineralización sea normal en este sistema, además, este bajo potencial de CIC influye en el pH del suelo que para este caso es muy fuertemente ácido (4,4).

Tabla 9.

Propiedades químicas del suelo en la zona de barbecho

	% M.O.	P ppm	pH	Al	N total	C.O	C/N	CIC
	meq/100g							
Zona 2	2,60	4,70	4,40	2,40	0,13	0,07	0,53	1,31

Nota: Valores de propiedades químicas en barbecho. Donde: M.O.=Materia orgánica; P=Fósforo; pH=Potencial de Hidrogeno; Al=Aluminio; N=Nitrógeno; C.O.=Carbono orgánico; CIC=Capacidad de intercambio catiónico. Resultados obtenidos laboratorio de suelos Universidad de los Llanos. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

En cuanto a la mesofauna que contiene el área de barbecho, se encontró una densidad promedio de 0,19 individuos por m² en lo que se refiere a himenópteros y 0,01 de individuos coleópteros por m² (ver tabla 10).

Tabla 10.

Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de barbecho

	D. Hymenoptera	D. Coleoptera
Muestreo 1	0,12	0,01
Muestreo 2	0,26	0,01

Nota: Densidad de hormigas y escarabajos en barbecho. Donde: D=Densidad. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Zona tres (cítricos): Se encuentra en el predio San Francisco; debido a que las zonas de cultivo están divididas entre ellas por bordes de bosque, se seleccionó una zona (3,7 Ha) como muestra representativa del suelo con uso de actividad agrícola.

Esta zona tiene una pendiente moderadamente escarpada de 23 %, el suelo es franco-arcilloso, fuertemente ácido con un pH de 4,3 y tiene una alta densidad herbácea con un rango entre 671 y 868 herbáceas por m² (promedio de 770 individuos por m²) según la tabla 11, cubriendo aproximadamente el 99,4 % de la superficie del suelo. La cobertura arbórea es del 0,13 %, con una densidad de 16 individuos por Ha, conformada únicamente por los árboles frutales. Esta cobertura vegetal brinda protección al suelo y beneficia el sistema para mantener sus condiciones estables, contribuyendo al desarrollo de organismos que aportan positivamente en dicho recurso.

Tabla 11.
Densidad de cobertura vegetal en la zona de cítricos

	D. Arbórea	% Cr	D. Arbustiva	% Cr	D. Herbácea	% Cr
Muestreo 1	0,04	0,11	0,75	0,34	868,33	99,54
Muestreo 2	0,04	0,15	1,00	0,59	671,00	99,26

Nota: Descripción de cobertura vegetal en cítricos. Donde: D=Densidad; Cr=Cobertura. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Este sistema también cuenta con una densidad relativamente baja ($1,56 \text{ g/cm}^3$) en el tratamiento dos, incidiendo en alto porcentaje de porosidad (26,46 %) y humedad (60,76 %) atribuido por el contenido de materia orgánica, la composición y funcionalidad que ejerce la cobertura. Siendo así, este sistema maneja condiciones estables del suelo que permiten un desarrollo tanto productivo como biológico (ver tabla 12).

Tabla 12.
Propiedades físicas del suelo en la zona de cítricos

	D. real (g/cm^3)		D. aparente (g/cm^3)		% Porosidad		% Humedad		% Aire	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
T 1	2,27	2,21	1,78	1,83	21,49	17,46	46,03	36,79	48,00	50,00
T 2	2,12	2,08	1,56	1,67	26,46	19,65	60,76	39,03	46,00	54,70
T 3	2,22	2,08	1,84	1,61	16,99	22,29	43,17	43,76	50,00	55,00

Nota: Valores de propiedades físicas en cada toma de muestra en cítricos. Donde: T=Tratamiento. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 13, esta área cuenta con un porcentaje de materia orgánica medio (3,4 %) y su relación carbono-nitrógeno (0,6 %) es baja, por lo que permite que la descomposición de dicha materia orgánica sea rápida y eficiente en el proceso de mineralización. Sin embargo, el Aluminio en este sistema es mayor a 2 meq/100g siendo un limitante para el crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal, esto se debe a las prácticas de control y fertilización química que se realiza en dicha zona.

Tabla 13.
Propiedades químicas del suelo en la zona de cítricos

	% M.O.	P ppm	pH	Al meq/100g	N total	C.O	C/N	CIC
Zona 3	3,40	2,50	4,30	2,90	0,17	0,10	0,60	0,56

Nota: Valores de propiedades químicas en cítricos. Donde: M.O.=Materia orgánica; P=Fósforo; pH=Potencial de Hidrogeno; Al=Aluminio; N=Nitrógeno; C.O.=Carbono orgánico; CIC=Capacidad de intercambio catiónico. Resultados obtenidos laboratorio de suelos Universidad de los Llanos. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Por otro lado, también se cuenta con una densidad promedio de 1,09 individuos himenópteros por m² y 0,03 individuos coleópteros por m², siendo alta en comparación a los sistemas evaluados (ver tabla 14).

Tabla 14.
Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de cítricos

	D. Hymenoptera	D. Coleoptera
Muestreo 1	0,63	0,02
Muestreo 2	1,56	0,04

Nota: Densidad de hormigas y escarabajos en cítricos. Donde: D=Densidad. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

En cuanto al proceso productivo y a las prácticas de uso y manejo del suelo, se aplican correctivos trimestral o semestralmente, dependiendo del clima, ya que esta área presenta alta frecuencia de precipitaciones. Se aplica roca fosfórica, cal dolomita, yeso agrícola (sulfato de Calcio), compuestos menores como Boro y Zinc, y fuentes de N-P-K utilizando la fertilización orgánica o química.

Las cosechas se realizan dos veces al año durante los meses mayo-julio y septiembre-noviembre, esta actividad no genera compactación en el suelo ya que la colecta y transporte de los frutos hasta el área de conteo y pesaje, se realiza de forma manual sin la utilización de maquinarias.

Zona cuatro (suelo con uso de actividad ganadera): Se encuentra en el predio La Palmita con un área de 0,84 Ha; tiene un suelo franco arenoso, fuertemente ácido (pH de 4,6) con una pendiente promedio de 43,8 %. De acuerdo a la tabla 15, su densidad arbórea es de 8 árboles por Ha la cual llega a cubrir el 0,07 % de la superficie del suelo, siendo la cobertura herbácea la forma de vida

con mayor presencia de individuos con una densidad de 561 individuos por m² (cobertura relativa del 99,8 %).

Tabla 15.
Densidad de cobertura vegetal en la zona de ganadería

	D. Arbórea	% Cr	D. Arbustiva	% Cr	D. Herbácea	% Cr
Muestreo 1	0,04	0,14	0,00	0,00	684,00	99,85
Muestreo 2	0,00	0,00	0,12	0,11	439,33	99,89

Nota: Descripción de cobertura vegetal en ganadería. Donde: D=Densidad; Cr=Cobertura. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Ahora bien, en los resultados de los laboratorios físicos del sistema con actividad ganadera se evidencia en la tabla 16 una densidad relativamente alta (2,3 g/cm³) en el tratamiento uno, que se atribuye a los procesos de compactación afectando el suelo y consiguientemente dan efecto a una menor porosidad (16,73 %) y humedad (24,5 %). De igual manera se evidencia que el porcentaje de aire (54 %) en el tratamiento tres es alto en comparación de los demás tratamientos, este varía según la estructura del suelo, la formación de los agregados y las partículas texturales del mismo.

Tabla 16.
Propiedades físicas del suelo en la zona de ganadería

	D. real (g/cm ³)		D. aparente (g/cm ³)		% Porosidad		% Humedad		% Aire	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
T 1	1,56	1,93	1,75	2,30	10,83	16,73	61,90	24,50	52,00	60,00
T 2	1,70	1,67	1,72	1,90	1,02	12,73	44,90	37,10	48,00	47,50
T 3	1,83	1,71	2,03	2,20	10,17	21,34	39,40	31,80	54,00	47,50

Nota: Valores de propiedades físicas en cada toma de muestra en ganadería. Donde: T=Tratamiento. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

En los resultados del laboratorio de análisis químico del suelo en la zona de actividad ganadera, se encontró un bajo potencial de retención e intercambio de nutrientes (CIC: 0,99 meq/100g), lo que corresponde a un suelo muy fuertemente ácido (ver tabla 17). Además de ello, se cuenta con un nivel de Aluminio inferior a 2 meq/100g, es decir que, no existe limitante alguno para el desarrollo y crecimiento de la cobertura vegetal, sin embargo, debe tenerse en cuenta la relación entre el contenido de materia orgánica y la compactación constante que se ejerce sobre este suelo para el desarrollo de dicha cobertura.

Tabla 17.
Propiedades químicas del suelo en la zona de ganadería

	% M.O.	P ppm	pH	Al	N	C.O	C/N	CIC
	meq/100g				total			
Zona 4	2,70	3,40	4,60	1,450	0,14	0,08	0,58	0,99

Nota: Valores de propiedades químicas en ganadería. Donde: M.O.=Materia orgánica; P=Fósforo; pH=Potencial de Hidrogeno; Al=Aluminio; N=Nitrógeno; C.O.=Carbono orgánico; CIC=Capacidad de intercambio catiónico. Resultados obtenidos laboratorio de suelos Universidad de los Llanos. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

En cuanto a la mesofauna que contiene el sistema de ganadería, se evidencia en la tabla 18 una densidad promedio baja de 0,195, es decir 19 individuos por m² en lo que se refiere a himenópteros y 0,005 individuos de coleópteros por m².

Tabla 18.
Densidad de macroinvertebrados del suelo en la zona de ganadería

	D. Hymenoptera	D. Coleoptera
Muestreo 1	0,07	0,01
Muestreo 2	0,32	0,00

Nota: Densidad de hormigas y escarabajos en ganadería. Donde: D=Densidad. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Teniendo en cuenta las características que presentó cada sistema en los componentes físicos, químicos y biológicos, se hace necesario realizar una comparación de variables para profundizar y determinar el sistema que más aporta o contribuye en el mejoramiento de las condiciones del suelo.

Tabla 19.

Resultados de análisis químico por zona de estudio (comparativo).

Zona de estudio	% M.O.	P ppm	pH	Al meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	K meq/100g	Na meq/100g
Zona 1	2,60	181,20	4,70	1,50	1,70	0,10	0,13	0,08
Zona 2	2,60	4,70	4,40	2,40	1,10	0,01	0,13	0,07
Zona 3	3,40	2,50	4,30	2,90	0,30	0,01	0,16	0,09
Zona 4	2,70	3,40	4,60	1,45	0,70	0,05	0,14	0,10

Nota: Valores de análisis químico en cada zona de estudio. Donde: Zona 1= Bosque secundario; Zona 2=Barbecho; Zona 3=Con cultivo de cítricos; Zona 4=Con uso de actividad ganadera; M.O.=Materia orgánica; P=Fósforo; pH=Potencial de Hidrogeno; Al=Aluminio; Ca=Calcio; Mg=Magnesio; K=Potasio; Na=Sodio. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Según los resultados de la tabla 19, las cuatro zonas de estudio presentan un pH fuertemente ácido con un rango de 4-5 (con variaciones mínimas entre cada zona), dado que se encuentran cerca de la cordillera oriental la cual debido a su pendiente y alta pluviosidad, generalmente presenta degradación del suelo con un pH y capacidad de intercambio catiónico bajo. Según Mejía C. (1980), el pH incide considerablemente en la fertilidad del suelo al influir en la liberación de nutrientes a partir de los minerales del suelo, los cuales intervienen en la composición de este recurso y se relacionan con la capacidad que tiene el suelo para suministrar nutrientes en las plantas. Por lo tanto, la capacidad de proveer elementos como Potasio, Calcio y Sodio, difieren dependiendo de la cantidad o tamaño de las partículas de los minerales, el nivel de pH, el humedecimiento-secamiento y la naturaleza de los iones que se encuentran en el suelo (Mejía C., 1980).

Estos valores de pH se deben al alto contenido de Aluminio y a la pérdida de cationes de Ca, Mg, K y Na (ver tabla 19), probablemente como consecuencia tanto de factores naturales como antrópicos; los factores naturales que causan la acidez en el suelo son las altas intensidades y frecuencias de precipitaciones que provocan arrastre de las bases de intercambio del suelo (Campillo R. & Sadzawka R., 2006), ya que las zonas que se encuentran en el predio San Francisco presentan mayor precipitación al encontrarse en una zona montañosa húmeda, es decir que, las zonas 1, 2 y 3 presentan las mismas condiciones climáticas a pesar de que las densidades de cobertura son distintas, siendo los sistemas de Barbecho y Cultivo de cítricos, de menor cobertura

arbórea a diferencia de la zona testigo; estas condiciones de cobertura vegetal se relacionan con el nivel de escorrentía y pérdida de nutrientes del suelo debido a que las copas de los árboles y la cubierta vegetal muerta, reducen la erosión y arrastre de sedimentos al contrarrestar la energía cinética de las gotas de lluvia (Calder, Hofer, Vermont, & Warren, 2007).

Según Campillo R. & Sadzawka R. (1993), otro factor que influye en el pH es la materia orgánica; como se observa en la tabla 19, la zona tres (suelo con cultivo de cítricos) contiene mayor contenido de M.O. que la zona testigo, lo cual puede ser debido al uso y manejo del suelo en dichas zonas al presentar aplicaciones de fertilizantes orgánicos de forma intencional. La descomposición de estos desechos orgánicos produce Dióxido de Carbono el cual al entrar en contacto con el agua forma ácido carbónico, aumentando de esta manera la acidez del suelo (Sadzawka R. & Campillo R., 1993); asimismo, el incremento de la concentración de iones de Hidrógeno en el suelo como consecuencia de los ácidos que contiene el humus, también reducen el nivel de pH (Campillo R. & Sadzawka R., 2006). No obstante, según Sadeghian, Rivera, & Gómez (1998), el contenido de materia orgánica también aporta positivamente a las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo al reducir la compactación, aumentar la porosidad, contenido de agua y la actividad microbiana del suelo.

Por otro lado, como se observa en la tabla anterior, el contenido de fósforo orgánico en las zonas de estudio es relativamente bajo, encontrándose en un rango de 2,5 ppm a 4,7 ppm, a excepción de la zona testigo, la cual presenta un nivel alto de 181,2 ppm. Según Rojas W. (2006), la disponibilidad de este elemento depende de las propiedades del suelo, las características del sistema radicular de las plantas y las condiciones ambientales, por lo tanto, la acidez de estos suelos es uno de los factores que influye en el contenido de fósforo ya que, en suelos ácidos la actividad de Aluminio y Hierro es alta y forman compuestos que son insolubles con el fósforo, “los fosfatos de Calcio solubles se transforman en compuestos de Hierro y Aluminio menos solubles” (Munera Velez & Meza Sepulveda, 2014), obteniéndose de esta manera una reducida cantidad de este elemento.

Otro factor ambiental relevante es la humedad del suelo, puesto que, el incremento de iones fosfato es directamente proporcional al contenido de agua al disolver el fósforo inorgánico el cual presenta productos solubles que incrementan la disponibilidad de P (Rojas W., 2006); por lo tanto, el contenido de dicho elemento no debería variar significativamente entre las zonas al presentarse

niveles de pH, humedad y contenido de materia orgánica similares; no obstante, el fósforo es mayor en la zona testigo debido a que los bosques tropicales húmedos contienen grandes reservas de este elemento (Sánchez & Palm, 1996), además la pérdida de este nutriente está relacionada por la erosión que se presenta en los demás sistemas de estudio (ver tabla 20); siendo así, al tener disponibilidad de P, bajos niveles de erosión hídrica, actividad microbiológica y de ácidos orgánicos capaces de solubilizar fosfatos mediante complejos de Ca, Al y Fe², permite mantener reservas óptimas de Fósforo.

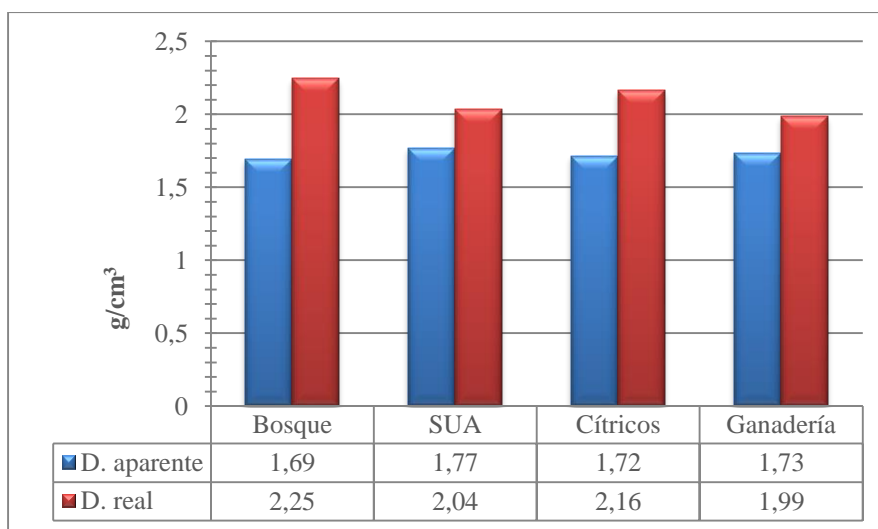


Figura 9. Densidad aparente y real del suelo en cada zona de estudio. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Según los resultados obtenidos en los laboratorios físicos de suelo, la densidad aparente es diferente en cada uno de los sistemas, sin embargo, no hay una diferencia significativa entre ellos. Aun así, podemos evidenciar que el sistema de bosque obtuvo la densidad más baja (1,69 g/cm³), lo que equivale a un suelo con mayor porosidad y agregados, generando así mayor estabilidad en el mismo. Esto se debe a que esta área no ha tenido intervención de actividades intensificadas como en los demás sistemas evaluados. Por el contrario, en sistemas como los de ganadería y barbecho se observa una mayor densidad con un valor de 1,73 g/cm³ y 1,77 g/cm³ correspondientemente, lo cual se relaciona con un mayor nivel de compactación y menor contenido de humedad.

² Estos ácidos se pueden generar por la descomposición de M.O. y por la exudación radicular y microbiana (Munera Velez & Meza Sepulveda, 2014).

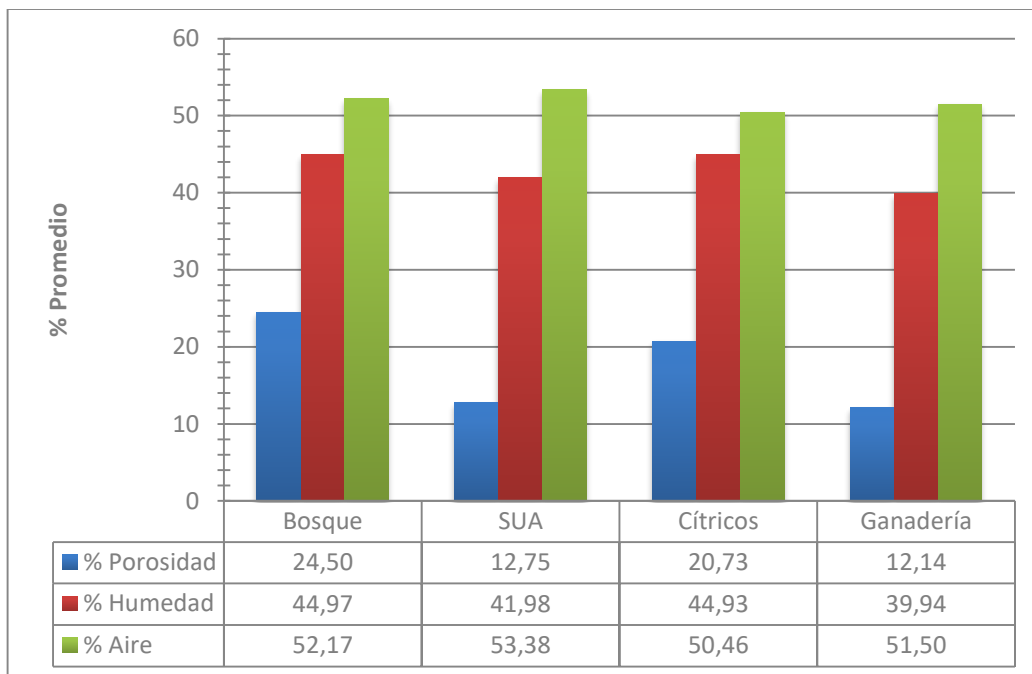


Figura 10. Porcentaje de porosidad, humedad y aire en cada zona de estudio. Fuente: Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

En la figura 10, se encontró que el sistema de cítricos tiene datos y/o características más cercanas a las del bosque secundario, lo cual permite entender que los cultivos permanentes sí aportan a la reestructuración de un suelo que ha pasado por actividades intensivas como lo es para este caso la ganadería. Por lo tanto, estos cultivos mejoran las características del suelo e influyen en el desarrollo de microorganismos que se encuentran en el mismo. El porcentaje de humedad es mayor tanto en bosque (24,50 %) como en cítricos (20,73 %), ya que se relaciona con la retención de humedad generada por beneficio de las plantas; de igual forma, las raíces contribuyen a que exista un mayor porcentaje de porosidad en estas áreas a diferencia de las demás.

A partir de lo anterior, el sistema con mejores condiciones físicas del suelo es el área de bosque secundario, seguido del suelo con cultivo de cítricos, contribuyendo positivamente en las condiciones ambientales de dicho recurso; no obstante, esta zona presentó menor contenido de aire que las áreas de barbecho y ganadería.

Para la medición de las variables hidrológicas se evaluaron dos eventos de precipitación sobre las parcelas de escorrentía de cada zona, obteniéndose un promedio de los datos registrados de porcentaje de escorrentía, pérdida de suelo, precipitación, agua escurrida y un valor de porcentaje de pendiente por cada parcela, como se observa en la tabla 20.

Tabla 20.

Pérdidas de suelo por escorrentía superficial a distintas pendientes y precipitaciones

Zona	Tratamiento	% Pend	Precipitación por parcela al día mm	Precipitación por zona al día mm	% E promedio por parcela	% E promedio por zona	SE promedio Kg/Ha por parcela	SE promedio Kg/Ha por zona
1	1	21,65	39,50	35,17	19,47	18,93	35,77	18,65
	2	39,60	39,50		20,00		20,19	
	3	33,25	26,50		17,31		0,00	
2	1	40,00	73,00	64,83	14,07	12,67	17,31	25,83
	2	34,00	60,00		12,00		40,00	
	3	60,00	61,50		11,95		20,19	
3	1	24,20	71,50	63,00	12,86	10,83	22,31	24,87
	2	32,15	57,50		9,10		20,00	
	3	17,05	60,00		10,52		32,31	
4	1	38,50	32,00	40,50	20,44	19,21	38,65	28,78
	2	48,35	43,00		18,46		22,69	
	3	46,00	46,50		18,72		25,00	

Nota: Valores de pérdida de suelo a diferentes precipitaciones y pendientes. Donde: %Pend= Porcentaje de pendiente; %E= Porcentaje de escorrentía superficial; SE= Suelo erosionado; Zona 1= Bosque secundario; Zona 2=Barbecho; Zona 3=Suelo con cultivo de cítricos; Zona 4=Suelo con uso de actividad ganadera; Tratamiento= Parcelas de escorrentía. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

La zona que presentó mayor escorrentía superficial fue la zona 4 (19,21 %), seguida de la zona testigo (18,93 %); esto se debe a que, aunque la zona 4 presenta precipitaciones bajas, su superficie vegetal no es tan eficientemente capaz de reducir la escorrentía al tener una cobertura poco densa en todas las formas de vida (arbórea, arbustiva y herbácea) a diferencia de las demás zonas de estudio, es por este motivo que su promedio de erosión es de 28,78 Kg/Ha, siendo la zona con mayor arrastre de partículas del suelo al no tener una densidad de cobertura que disminuya el efecto de degradación de las gotas de lluvia y no tener una vegetación con alta presencia de sistema de

raíces que brinde un efecto sujetador sobre dichas partículas propensas al arrastre por escorrentía (Cervantes Cordero, 1999).

Por otro lado, en la zona 1 a pesar de presentarse alto porcentaje de escorrentía, la erosión del suelo es menor (18,65 Kg/Ha). Siendo así, el nivel de erosión está influenciado principalmente por la cobertura vegetal y el uso y manejo del suelo, al presentarse mayores niveles de erosión en las zonas con actividades productivas (zona 3 y 4) y la zona 2, la cual a pesar de no presentar uso alguno del suelo, su cobertura vegetal no controla el impacto de la lluvia al tener una densidad arbórea discontinua y con gran altura, ya que, según Lianes Revilla (2008), la cobertura vegetal influye positiva o negativamente en la reducción de erosión del suelo dependiendo de la altura y continuidad de la vegetación, dado que las gotas de lluvia interceptadas por el follaje de los árboles altos, se pueden unir a otras gotas que se encuentren en las hojas y de esta manera, aumenta su volumen, velocidad y energía, produciendo un mayor impacto en el suelo (Lianes Revilla, 2008).

La zona 3 con cultivo de cítricos presenta menor erosión que la zona 4 al tener una vegetación con cierta densidad arbórea y alta densidad herbácea las cuales actúan como una barrera que protege al suelo de la erosión al reducir la energía cinética de las gotas de lluvia con el follaje de las plantas (Lianes Revilla, 2008).

Respecto a las correlaciones que se presentan entre las diferentes variables evaluadas, se definió por medio de un modelo de regresión el coeficiente de determinación o r^2 permitiendo conocer la calidad de la función y así predecir futuros resultados, o bien probar una hipótesis. Por tanto, se determinó la correlación entre precipitación y porcentaje de escorrentía la cual es directamente proporcional según la figura 11, no obstante la zona 2 presenta una relación baja a diferencia de las otras zonas, con un r^2 de 41,1 % (r^2 ajustado de 26,4 %) al presentar en algunos casos niveles de escorrentía bajos cuando la precipitación es alta, esto es debido a que la escorrentía depende no solamente de la cantidad de agua precipitada sino también de la intensidad, duración de la tormenta y de la capacidad de infiltración del suelo, por lo tanto, en condiciones de lluvia con baja intensidad y alta duración, la escorrentía puede ser menor al no superar la tasa de infiltración del suelo (UNESCO & PHI, 2010).

En cuanto a la relación de escorrentía y precipitación según la figura 11, la zona 1 tiene una alta correlación; presenta precipitaciones bajas de 3 mm hasta 72 mm y 15,38 % hasta 22,9 % de

escorrentía, siendo mayor que la zona 3 con cultivo de cítricos (6,6 % hasta 14,5 % de escorrentía) la cual tiene una precipitación total mayor al de la zona boscosa (ver figura 11).

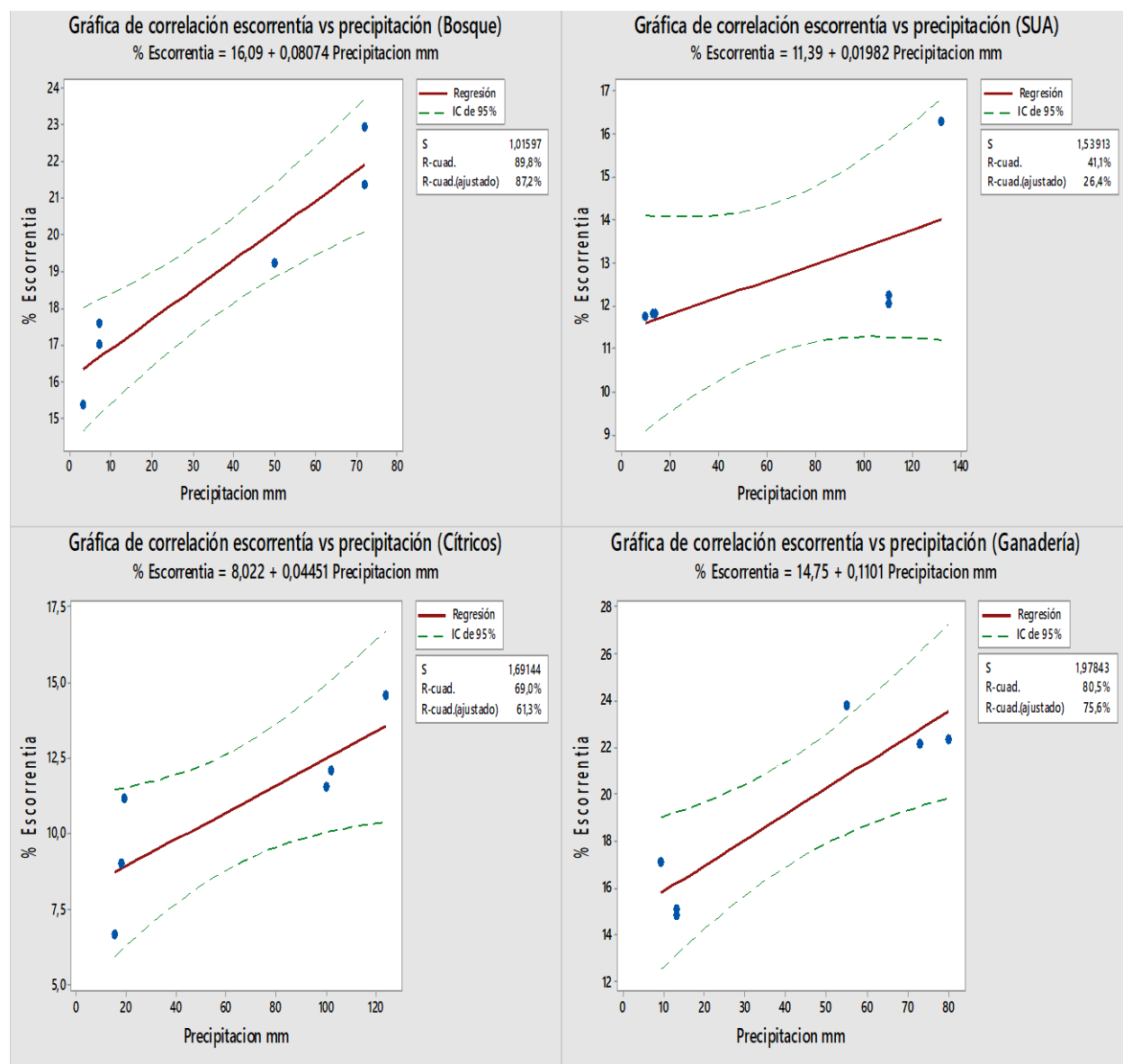


Figura 11. Correlación escorrentía vs precipitación por zona de estudio. Donde: Bosque=Zona 1; SUA=Zona 2 (barbecho o sin uso actual); Cítricos=Zona 3; Ganadería=Zona 4. Realizado por medio del software Minitab 17. (Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018).

Por otro lado, no se encontró significancia entre la relación del factor pendiente con la escorrentía y erosión del suelo según la tabla 20 y la figura 12, es decir que el nivel de degradación del suelo en esta investigación no fue afectado directamente por la pendiente del terreno sino por la cobertura vegetal, el uso y estructura del suelo.

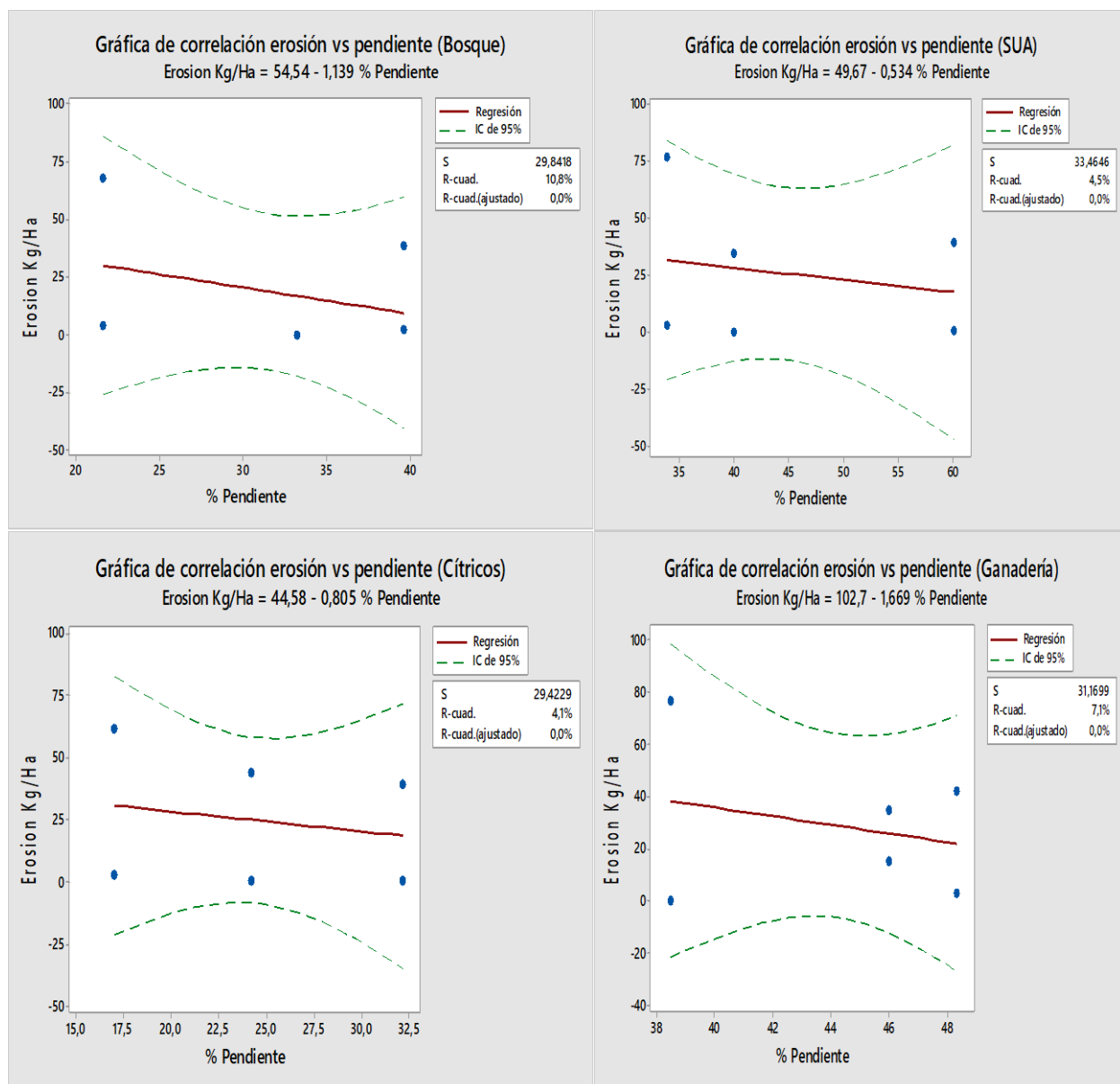
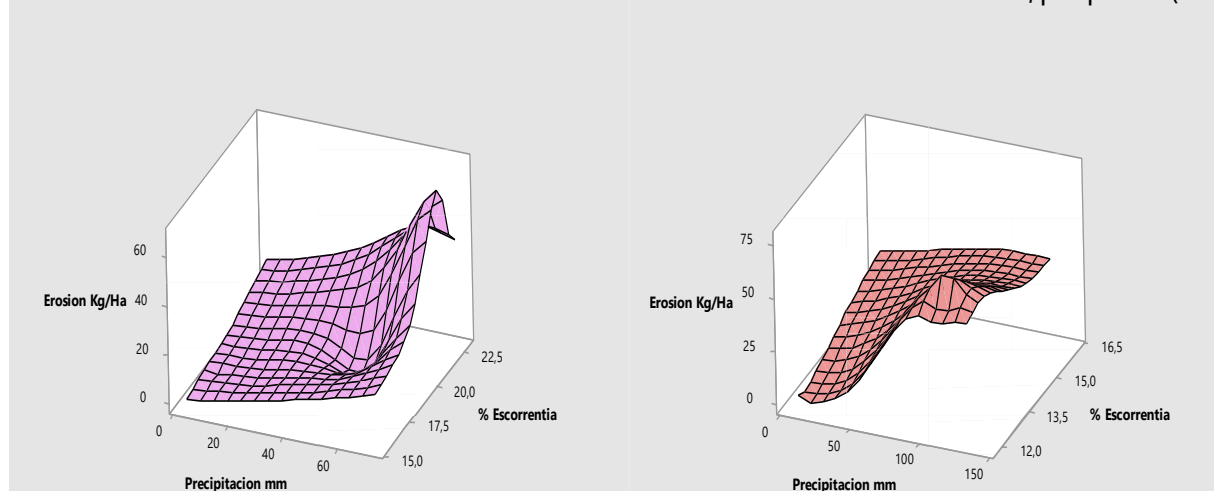


Figura 12. Correlación erosión vs pendiente por zona de estudio. Realizado por medio del software Minitab 17. Donde: Bosque=Zona 1; SUA=Zona 2 (barbecho o sin uso actual); Cítricos=Zona 3; Ganadería=Zona 4. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

En cuanto a las gráficas de relación entre erosión hídrica con la escorrentía superficial y la precipitación en cada zona de estudio (ver figura 13), todas las zonas presentaron una relación directamente proporcional, es decir que, a medida que la precipitación y escorrentía aumentaban, la pérdida de suelo era mayor, no obstante, en algunos casos la zona 2 obtuvo una relación inversamente proporcional al obtener valores de disminución de erosión a medida que la escorrentía aumentaba y la precipitación era alta.

Gráfica de relación erosión vs escorrentía; precipitación (Bosque) Gráfica de relación erosión vs escorrentía; precipitación (SUA)



Gráfica de relación erosión vs escorrentía; precipitación (Cítricos) Gráfica de relación erosión vs escorrentía; precipitación (Ganadería)

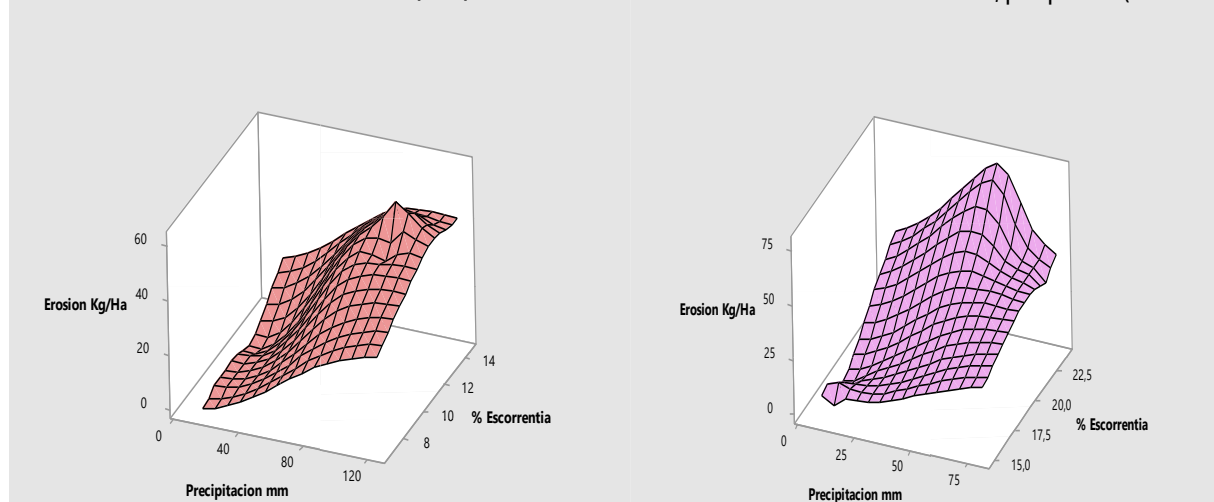


Figura 13. Gráfica de relación erosión vs escorrentía y precipitación por zona de estudio. Donde: Bosque=Zona 1; SUA=Zona 2 (barbecho o sin uso actual); Cítricos=Zona 3; Ganadería=Zona 4. Realizado por medio del software Minitab 17. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Tabla 21.

Promedio de velocidad de infiltración por zona de estudio.

Zona estudio	Infiltración cm/h	Desviación Estándar	Correlación Pearson	R ²
Zona 1	7,34	6,79	-0,74	0,55
Zona 2	7,15	4,57	-0,53	0,28
Zona 3	8,03	7,52	-0,64	0,41
Zona 4	23,76	34,01	-0,12	-0,02

Nota: Valores promedio de infiltración. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Ahora bien, es necesario entender que cada una de las variables se correlacionan entre sí, siendo así, es importante relacionar las propiedades textura y velocidad de infiltración; ya que la textura es un factor que influye directamente en la retención, infiltración y comportamiento hídrico del suelo. Según la tabla de velocidad de infiltración por zona de estudio, el sistema de ganadería tiene una mayor velocidad (23,76 cm/h) frente a los demás sistemas evaluados, esto se debe a que la textura del suelo al ser franco-arenosa le permite infiltrar de manera rápida el agua por la distribución y estructura de sus macroporos, siendo un suelo permeable y generando con ello una baja capacidad de campo o retención del agua, por tanto, su baja retención de agua aumenta el porcentaje de escorrentía y pérdida de área superficial en esta zona.

Además de ello, se evidencia en la tabla 21 como en los gráficos (ver figura 14) que la infiltración y el tiempo son inversamente proporcional al contenido de agua inicial para todos los sistemas, además de ello la desviación estándar varía en cada uno de los sistemas evaluados, sin embargo, la zona 2 cuenta con una menor desviación (4,57), la cual corresponde a un suelo franco, es por ello que su velocidad de infiltración es constante, ya que es un suelo ligero, aireado y con una capacidad de retención de agua media-alta.

Respecto a las zonas de cítricos y bosque, se presentan texturas franco-arcillosas las cuales contienen en su estructura gran cantidad de microporos, es decir, la retención y almacenamiento de agua es esencial para estos tipos de suelo, presentando una gran cantidad de agua disponible o útil, por ende, los porcentajes de escorrentía y pérdida de área superficial son bajos.

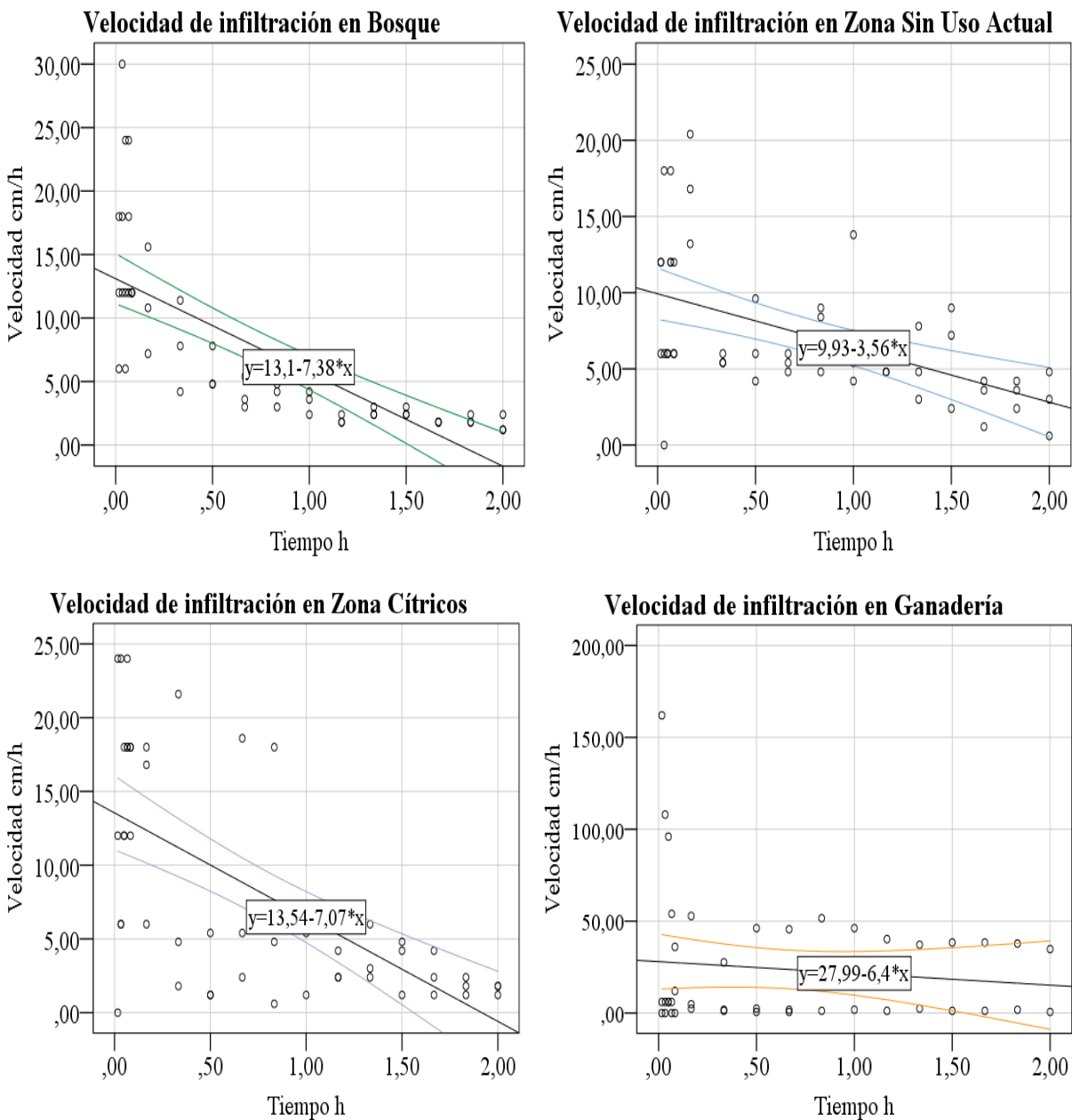


Figura 14. Gráficos de dispersión de velocidad de infiltración por zona de estudio. Realizado por medio del software IBM SPSS Statistics 24. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Tabla 22.

Promedio de densidad de macroinvertebrados y de propiedades físicas por cada zona de estudio.

Zonas de estudio	D. Hym	D. Col	% P	%A	I cm/h
Zona 1	1,235	0,015	24,50	52,17	7,34
Zona 2	0,190	0,010	12,75	53,38	7,15
Zona 3	1,095	0,030	20,73	50,46	8,03
Zona 4	0,195	0,005	12,14	53,17	23,76

Nota: Valores promedio de densidad de macroinvertebrados y propiedades físicas. Donde: D. Hym=Densidad de Hymenoptera; D. Col=Densidad de Coleoptera; P=Porosidad; A= Aire; I=Infiltración. Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

Teniendo en cuenta los promedios obtenidos en el muestreo biológico, las zonas con mayor abundancia de macroinvertebrados del suelo son bosque (1,25 individuos por m²) y cítricos (1,125 individuos por m²), por lo general una alta cantidad de mesofauna en dicho recurso tiene efectos beneficiosos en la conductividad hidráulica del suelo, ya que incrementa la permeabilidad y porosidad mediante la excavación; estos organismos mejoran la estructura del suelo y aumenta su fertilidad a través del proceso descomposición e incrementan la materia orgánica (Ruiz Romera & Martínez Santos, 2015).

Por el contrario, la zona de ganadería presenta una baja cantidad de himenópteros y coleópteros (0,2 individuos por m²), la cual puede verse reducida por un exceso de pastoreo ya que se genera un proceso de compactación incrementando la densidad y reduciendo la porosidad del suelo, de manera que disminuye la cantidad de agua que circula a través de este (Ruiz Romera & Martínez Santos, 2015). Sin embargo, se evidenció que la velocidad de infiltración en este sistema es mayor en comparación a los otros, lo cual se debe al tipo de textura que contiene, el ser franco-arenoso le permite infiltrar con una mayor velocidad por sus macroporos, mas no retiene el agua y no permite que circule constantemente en el suelo (FAO, 2006).

También se encontró una baja velocidad de infiltración en la zona 2 (7,15 cm/h), ya que su textura contiene arcilla, limo y arena; algunos tipos de arcilla se hinchan durante la humectación y se deshinchon cuando pierden agua (Ruiz Romera & Martínez Santos, 2015). La hinchazón inhibe la infiltración, mientras que la contracción de las arcillas puede provocar agrietamiento del terreno e

incrementar el flujo a través de los macroporos, aun así, esta zona presenta alta retención de agua y un bajo porcentaje de escorrentía.

Siendo así, tanto la materia orgánica como la textura son variables que influyen en la humedad y la creación de espacios mayores por los cuales el agua circula con gran facilidad, es decir, en la porosidad; además de ello, un contenido adecuado de materia orgánica favorece en la composición de un suelo más estable o hábitats adecuados para el desarrollo de la flora y fauna del mismo (Julca Otiniano, Meneses Florián, Blas Sevillano, & Bello Amez, 2006).

Con base en lo anterior, se entiende que el sistema de cítricos efectúa un aporte positivo y mejor en cuanto a las condiciones biológicas del suelo en comparación a los demás sistemas evaluados, ya que genera una mayor densidad y abundancia de macroinvertebrados del suelo por su cobertura vegetal, y asimismo permite que dicho recurso con el tiempo se recupere de un suelo degradado por actividades intensivas, sin dejar de ser un área productiva.

Sin embargo, para comprender a modo general la funcionalidad de cada sistema se generó una tabla de correlación a partir del software estadístico IBM SPSS Statistics, en la que demuestra la relación e influencia de una variable sobre otra, lo cual se ve reflejado en cada uno de los sistemas comparados y es por ello que cada uno presenta condiciones o características diferentes.

Tabla 23.

Matriz de coeficientes de correlación y sus respectivas probabilidades de las variables evaluadas en cada zona de estudio.

	Da	Dr	Pr	H	A	I	Esc	E	Prp	M.O	P	pH	Al	Ca	Mg	K	Na	CrAr	Crab	Crh	DAr	Dab	Dh	Dhym	Dcol
Da	1	,347	,404	,773**	,154	,062	,108	,033	,058	,058	,161	,103	,065	,050	,15	,054	,079	,167	,144	,173	,107	,083	,046	,096	,091
Dr	,347	1	,715**	,344	,001	,066	,149	,042	,063	,131	,432*	,097	,045	,231	,276	,048	,146	,415*	,494*	,451*	,413*	,497*	,006	,461*	,159
Pr	,404	,715**	1	,235	,114	,030	,057	,032	,033	,197	,522**	,143	,024	,239	,363	,112	,082	,508*	,598**	,551**	,465*	,563**	,031	,532**	,241
H	,773**	,344	,235	1	,111	,192	,436*	,486*	,510*	,100	,121	,032	,087	,043	,043	,062	,072	,134	,023	,127	,057	,038	,286	,112	,064
A	,154	,001	,114	,111	1	,172	,126	,166	,119	,237	,014	,117	,153	,116	,037	,217	,060	,022	,027	,016	,007	,155	,282	,089	,062
I	,062	,066	,030	,192	,172	1	,136	,015	,011	,063	,141	,134	,218	,129	,039	,023	,323	,168	,328	,201	,162	,318	,080	,180	,190
Esc	,108	,149	,057	,436*	,126	,136	1	,374	,171	,535**	,444*	,783**	,805**	,449*	,690**	,443*	,280	,389	,166	,334	,441*	,254	,495*	,180	,392
E	,033	,042	,032	,486*	,166	,015	,374	1	,776**	,020	,128	,057	,022	,100	,092	,041	,064	,121	,193	,083	,054	,135	,349	,274	,138
Prp	,058	,063	,033	,510*	,119	,011	,171	,776**	1	,150	,209	,293	,283	,168	,286	,123	,117	,169	,394	,099	,101	,330	,280	,355	,350
M.O	,058	,131	,197	,100	,237	,063	,535**	,020	,150	1	,397	,709**	,741**	,788**	,510*	,976**	,368	,438*	,292	,360	,410*	,518**	,607**	,361	,735**
P	,161	,432*	,522**	,121	,014	,141	,444*	,128	,209	,397	1	,732**	,531**	,843**	,897**	,480*	,265	,990**	,485*	,978**	,969**	,380	,150	,540**	,006
pH	,103	,097	,143	,032	,117	,134	,783**	,057	,293	,709**	,732**	1	,966**	,734**	,940**	,645**	,141	,696**	,163	,615**	,679**	,300	,416*	,076	,495*
Al	,065	,045	,024	,087	,153	,218	,805**	,022	,283	,741**	,531**	,966**	1	,600**	,827**	,632**	,264	,492*	,386	,396	,479*	,520**	,466*	,115	,619**
Ca	,050	,231	,239	,043	,116	,129	,449*	,100	,168	,788**	,843**	,734**	,600**	1	,751**	,868**	,562**	,880**	,265	,846**	,848**	,064	,406*	,159	,346
Mg	,159	,276	,363	,043	,037	,039	,690**	,092	,286	,510*	,897**	,940**	,827**	,751**	1	,497*	,091	,855**	,122	,802**	,839**	,019	,262	,352	,242
K	,054	,048	,112	,062	,217	,023	,443*	,041	,123	,976**	,480*	,645**	,632**	,868**	,497*	1	,548**	,537**	,115	,476*	,505*	,349	,569**	,265	,639**
Na	,079	,146	,082	,072	,060	,323	,280	,064	,117	,368	,265	,141	,264	,562**	,091	,548**	1	,370	,481*	,408*	,342	,340	,148	,024	,000
CrAr	,167	,415*	,508*	,134	,022	,168	,389	,121	,169	,438*	,990**	,696**	,492*	,880**	,855**	,537**	,370	1	,526**	,993**	,964**	,387	,198	,499*	,019
Crab	,144	,494*	,598**	,023	,027	,328	,166	,193	,394	,292	,485*	,163	,386	,265	,122	,115	,481*	,526**	1	,625**	,488*	,918**	,006	,756**	,649**
Crh	,173	,451*	,551**	,127	,016	,201	,334	,083	,099	,360	,978**	,615**	,396	,846**	,802**	,476*	,408*	,993**	,625**	1	,954**	,486*	,183	,566**	,076
DAr	,107	,413*	,465*	,057	,007	,162	,441*	,054	,101	,410*	,969**	,679**	,479*	,848**	,839**	,505*	,342	,964**	,488*	,954**	1	,431*	,049	,595**	,051
Dab	,083	,497*	,563**	,038	,155	,318	,254	,135	,330	,518**	,380	,300	,520**	,064	,019	,349	,340	,387	,918**	,486*	,431*	1	,358	,854**	,807**
Dh	,046	,006	,031	,286	,282	,080	,495*	,349	,280	,607**	,150	,416*	,466*	,406*	,262	,569**	,148	,198	,006	,183	,049	,358	1	,266	,536**
Dhym	,096	,461*	,532**	,112	,089	,180	,180	,274	,355	,361	,540**	,076	,115	,159	,352	,265	,024	,499*	,756**	,566**	,595**	,854**	,266	1	,750**
Dcol	,091	,159	,241	,064	,062	,190	,392	,138	,350	,735**	,006	,495*	,619**	,346	,242	,639**	,000	,019	,649**	,076	,051	,807**	,536**	,750**	1

Nota: Valores de correlación de Pearson. Donde: Da=Densidad aparente; Dr= Densidad real; Pr=Porosidad; H=Humedad; A=Aire; I=Infiltración; Esc=Escorrentía; E=Erosión; Prp=Precipitación; M.O.=Materia orgánica; P=Fósforo; pH=Potencial de Hidrogeno; Al=Aluminio; Ca=Calcio; Mg=Magnesio; K=Potasio; Na=Sodio; CrAr=Cobertura relativa arbórea; Crab=Cobertura relativa arbustiva; Crh=Cobertura relativa herbácea; DAr=Densidad arbórea; Dab=Densidad arbustiva; Densidad herbácea; Dhym=Densidad de Hymenoptera; Dcol=Densidad de Coleoptera. Demarcaciones de color rojo hacen referencia a valores negativos. Realizado por medio del software IBM SPSS Statistics 24. Por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

La cobertura vegetal, presenta una correlación directa de 0,76 en promedio con la densidad de himenópteros y coleópteros, lo cual nos indica que al incrementarse la cobertura y densidad vegetal en cada sistema, la densidad de himenópteros y coleópteros tenderá a aumentar según corresponda, funcionando estos como indicadores del suelo, para establecer las condiciones que posee y así determinar la calidad del mismo.

Además de ello, tanto el índice de cobertura vegetal como los macroinvertebrados del suelo presentan una correlación directa de 0,53 en promedio con la porosidad, esta última aumenta de manera dependiente a la cantidad de densidad vegetal y de la mesofauna, ya que el sistema radicular necesita agua y oxígeno, y además un espacio poroso adecuado entre las partículas del suelo para poder desarrollarse; es necesario entender que, aunque las raíces son capaces de penetrar por grietas y poros muy pequeños, las paredes de éstos deben ser capaces de ceder ante la presión ejercida por la raíz, es decir, el crecimiento radicular depende de la estructura y textura del suelo, en lo que influye directamente las actividades que se ejercen sobre él para la existencia de una alta o baja compactación (Schlegel & FAO, 1996).

Asimismo, la mesofauna que se encuentre allí determina la porosidad de tal recurso, siendo estos individuos los formadores de poros, adaptando las condiciones del mismo para su desarrollo (Schlegel & FAO, 1996). Además, por su influencia se correlaciona en 0,73 aproximadamente con el contenido de materia orgánica, incidiendo en el aumento de esta a través de los procesos de descomposición que realizan dichos individuos.

En cuanto a la materia orgánica, esta se encuentra correlacionada con las propiedades químicas de forma inversa y directamente proporcional (Al 0,74, Ca -0,79, Mg -0,51, K 0,98) al depender del contenido de carbono orgánico producido por la reacción de CO₂ con el agua (Sadzawka R. & Campillo R., 1993).

Por otro lado, la erosión cuenta con una correlación directa de 0,78 con la precipitación, lo que implica que a una mayor precipitación, la pérdida de suelo aumenta en el área, esto se debe a que la alta intensidad y duración de lluvia influye en el desprendimiento y transporte de partículas del suelo causando una baja fertilidad y afectando las condiciones estables de este recurso.

Conclusiones

- La zona con cultivo de cítricos presentó mejores condiciones físico-químicas y de cobertura vegetal en comparación con la zona de ganadería. Adicionalmente, este sistema de cultivos perennes genera impactos positivos en el medio ambiente al ser una práctica adecuada y al presentar altos porcentajes de humedad y porosidad en el suelo, bajos niveles de erosión hídrica, alta densidad de cobertura vegetal y alta presencia de macroinvertebrados; en cuanto a las propiedades químicas del suelo, no presenta cambios significativos de mejora ni deterioro.
- Respecto a las condiciones fisicoquímicas del suelo de las áreas de estudio, las cuatro zonas presentan pH fuertemente ácido (4,3-4,7), contenido de materia orgánica media (de 2,6 % a 3,4 %) y baja capacidad de intercambio catiónico (desde 0,56 hasta 2,01). El área con menor porcentaje de porosidad y humedad fue la zona de ganadería (12,14 % de porosidad y 39,94 % de humedad) seguida de la zona de barbecho con valores similares (12,75 % de porosidad y 41,98 % de humedad).
- La densidad de cobertura arbórea fue mayor en la zona testigo (296 individuos por hectárea), mientras que la zona de ganadería presentó baja densidad en todas las formas de vida vegetal (densidad arbórea de 8 individuos por Ha, 156 individuos arbustivos por Ha y una densidad herbácea de 561 individuos por m²). De igual forma, la zona que presentó mayor densidad herbácea fue el área con cultivos permanentes (770 individuos por m²).
- La zona testigo también obtuvo un aporte positivo en la evaluación física e hidrológica generado por el efecto de escorrentía superficial, favoreciendo así en la recarga de un cuerpo hídrico al producir un arrastre muy bajo de partículas del suelo; por otro lado, no se encontró una relación directa entre los niveles de escorrentía superficial y erosión con la pendiente del terreno, debido a la obtención de datos muy variados de pérdida de suelo y agua escurrida independientemente del aumento o disminución del porcentaje del porcentaje de inclinación, es decir, que la topografía del terreno es una causante indirecta, en comparación al uso y estructura del suelo.
- Dentro del análisis realizado se puede llegar a concluir que la degradación del suelo depende de la cobertura vegetal que tenga cada sistema y de las mismas actividades que se ejerzan sobre el suelo, ya que esta cobertura brinda una protección a dicho recurso manteniendo estable sus condiciones físicas, químicas, biológicas e hidrológicas.

Recomendaciones

Los valores de cada variable obtenidos en la zona tres, describen las condiciones de un suelo que presenta una plantación de aproximadamente cinco años de edad la cual, actualmente ha cumplido el periodo de desarrollo del sistema radicular y la parte aérea (tronco, ramificaciones, hojas y frutos), por lo tanto, dependiendo de la edad de la plantación, las condiciones del suelo pueden variar, ya que, el desarrollo del árbol a una edad más adulta (20 años) se estabiliza para asegurar la renovación de ramificaciones, hojas y raíces (Martínez Covaleda & Peña Marín, 2005), lo cual puede influir en las propiedades físicas del suelo, en la capacidad de infiltración, nivel de escorrentía y erosión hídrica. Siendo así, es recomendable realizar nuevamente evaluaciones de las propiedades físicas del suelo para determinar el grado de impacto ambiental a largo plazo.

Se sugiere realizar estudios posteriores y complementarios que respalden la investigación para implementar alternativas productivas que contribuyan a la recuperación de un suelo degradado por actividades intensivas, conservando las condiciones óptimas y estables en los mismos, con el fin de prevenir la degradación de suelos en riesgo y así lograr un manejo sostenible de este recurso.

Además de ello, debido a que cada sistema varía según su ubicación, es necesario hacer este estudio con zonas que manejen estratégicamente las mismas condiciones, para así hacer válida la evaluación en sistemas homogéneos, permitiendo analizar de manera precisa y coherente los diferentes eventos que se presenten.

También se recomienda repetir la metodología usada con la finalidad de validar su uso en la evaluación de variables hidrológicas de los distintos sistemas evaluados y recopilar más datos e información que aporten a la investigación, metodológicamente se sugiere realizar cambios en el material manejado para las parcelas de escorrentía, es decir, de polietileno a aluminio galvanizado, para que sea más eficiente y el sesgo en la toma de datos sea menor ya que el material utilizado no tiene mayor resistencia a comparación del aluminio galvanizado el cual tiene un costo más elevado.

Por otra parte, se hace necesario tener en cuenta esta investigación en el plan de ordenamiento territorial, para promover alternativas en el uso adecuado del suelo e incentivar en el campo productivo y de la investigación beneficiando la ciudad en su aspecto ambiental, además, es importante dicha evaluación ya que permite involucrar el sector social fomentando la educación ambiental para los pequeños y grandes productores.

Referencias Bibliográficas

- Acosta Guzmán, R. F. (Agosto de 2010). Cámara De Comercio De Villavicencio. *Censo Industrial Comercial Y De Servicios De La Ciudad De Villavicencio, Meta*. Villavicencio, Colombia.
- Alcaldía de Bogotá. (18 de Diciembre de 1974). Decreto 2811 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. *Decreto 2811 de 1974*. Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía de Bogotá. (4 de Julio de 1991). Constitución Política de Colombia de 1991. *Constitución Política de Colombia de 1991*. Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía de Bogotá. (22 de Diciembre de 1993). Ley General Ambiental de Colombia 99 de 1993. *Ley 99 de 1993*. Bogotá D.C., Colombia.
- Alcaldía de Bogotá. (18 de Julio de 1997). Ley Orgánica del Plan de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 388 de 1997. *Ley 388 de 1997*. Bogotá D.C., Colombia.
- Anderson, S., Ferraes, N., Gundel, S., Keane, B., & Pound, B. (1997). *Cultivos de Cobertura: componentes de sistemas integrados. Taller Regional Latinoamericano. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán*. Yucatán, México.
- Arrieche, R.-S. (2012). Repositorio Institucional La Javeriana. *Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico la estancia, madrid, cundinamarca, 2012. Utilizando indicadores de calidad de suelos (Tesis de grado)*. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Arshad, M., & Coen, G. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7(1-2), 25-31.
- Benavides, J. (2010). Centro de Estudios de la Orinoquia CEO - Universidad de los Andes. En FEDESARROLLO (Ed.), *El desarrollo económico de la Orinoquía como aprendizaje y construcción de instituciones* (págs. 1-40). Bogotá, Colombia.
- Calder, I., Hofer, T., Vermont, S., & Warren, P. (Abril de 2007). Hacia una nueva comprensión de los bosques y el agua. *Unasylva*, 58(229).
- Campillo R., R., & Sadzawka R., A. (2006). La acidificación de los suelos, origen y mecanismos involucrados. En R. Campillo R. (Ed.), *Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía*. (págs. 44-60). Temuco, Chile.

Cervantes Cordero, R. A. (Febrero de 1999). *Disminución de la escorrentía superficial debido a variaciones en el uso del suelo*. San José, Costa Rica.

Corpoica. (2007). *Fundamentos biofísicos y socioeconómicos para la formulación de propuestas productivas para la Orinoquia alta Colombiana*. Convenio MADR – Corpoica. Villavicencio, Meta, Colombia: Corpoica.

Corpoica. (2013). *Guía toma de muestra de suelos*. Corpoica. Obtenido de https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/convenios/corpoica/VC_G_06_Guia_toma_muestras_de_suelo.pdf

Correa, H. D., Ruiz, S. L., & Arévalo, L. M. (2005). En Corporinoquia, Cormacarena, I.A.v.H, Unitrópico, Fundación-Omachá, Universidad-Javeriana, . . . Horizonte-Verde, & R. Constanza (Ed.), *Plan de acción en biodiversidad de la cuenca del Orinoco – Colombia 2005-2015 Propuesta Técnica* (pág. 281). Bogotá D.C., Colombia.

Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environmental* (Vol. 35). (D. C. Doran, Ed.) Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America.

Echarri, L. (1998). *Tecnun Universidad de Navarra*. Obtenido de Tecnun Universidad de Navarra: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/05PrinEcos/100PrinEcos.htm#Suelo>

FAO. (17 de Noviembre de 2006). *Capacitación sobre el recurso suelo*. Conceptual, FAO. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ta ed.). Roma, Viale delle Terme di Caralla, Italia.

FAO. (2017). *Beneficios ambientales que produce la agricultura orgánica*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Finagro. (Agosto de 2014). *Perspectivas del sector agropecuario Colombiano*. Bogotá, Colombia. Obtenido de https://www.finagro.com.co/sites/default/files/2014_09_09_perspectivas_agropecuarias.pdf

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. Obtenido de Scielo.

Gayoso Aguilar, J. (1995). Impacto Ambiental de las Prácticas de Cosecha Forestal y Construcción de Caminos en Bosques Nativos Siempreverdes de la X Región de Chile. En *Estudio monográfico de explotación forestal*. Roma, Italia. Obtenido de FAO.

Gisbert Blanquer, J., Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón, H. (s.f.). *El espacio poroso del suelo*. Universidad Politécnica de Valencia.

Gómez Giraldo, J. C. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. Tolima: SENA.

Guerrero, R. 2000. La acidez del suelo: su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. pp. 144-145. En: Silva, F. (ed.). *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Tercera edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá.

Gutierrez Pajarito, V. L., & Pinzón Rojas, P. L. (2017). *Evaluación de la erosión hídrica y escorrentía en tres sistemas productivos para un manejo sostenible del suelo en la vereda Santa marta, Cabrera, Cundinamarca. (Tesis de pregrado)*. Corporación Universitaria Minuto De Dios. Bogotá, Colombia.

Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. FAO.

ICA. (1992). *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación*. . Santafé de Bogotá.: Produmedios.

IGAC; CORPOICA. (2002). En *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país. Capítulo IV: uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia*. Bogotá, Colombia.

Jamiroy Orozco, D. D. (2011). *Revistas Universidad Nacional de Colombia. Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del Piedemonte Llanero Colombiano (Tesis de Grado)*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Julca Otiniano, A., Meneses Florián, L., Blas Sevillano, R., & Bello Amez, S. (Abril de 2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.

Kavian, A., Azmoodeh, A., & Solaimani, K. (08 de Diciembre de 2011). Deforestation effects on soil properties, runoff and erosion in northern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(5), 1941-1950.

Lianes Revilla, E. (Octubre de 2008). *Estudio del factor vegetación "factor C" de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada "RUSLE" en la cuenca del río Birrís, Costa Rica. (Tesis de pregrado)*. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.

Maderey Rascon, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico* (1 ed.). (M. Pavon Lopez, & UNAM, Edits.) México.

Malagón Castro, D. (Septiembre de 2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 27(104), 341.

Martínez Covalada, H. J., & Peña Marín, Y. (2005). *La cadena de cítricos en Colombia: Una mirada global de su estructura y dinámica*. Bogota, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Obtenido de http://www.asohofrucol.com.co/archivos/Cadenas/caracterizacion_citricos_2005.pdf

Matthews, C., & FAO. (29 de Noviembre de 2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. *FAO Sala de Prensa*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Mejía C., L. (1980). La Mineralogía del suelo y sus relaciones con la fertilidad. En S. T. Benavides, SCCS, & F. Silva Mojica (Ed.), *Fertilidad de suelos, diagnostico y control* (págs. 29-35). Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: BOLFOR.

Munera Velez, G. A., & Meza Sepulveda, D. C. (2014). *El Fósforo elemento indispensable para la vida vegetal*. (U. T. Pereira, Ed.) Pereira, Risaralda, Colombia: Repositorio Universidad Tecnológica de Pereira.

Nieto Escalante, J. A. (05 de Octubre de 2016). De las 53 millones de hectáreas intervenidas en Colombia, el 61% presenta un uso inadecuado del suelo. *Noticias IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Obtenido de IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

Nieto Escalante, J. A. (4 de Agosto de 2016). El 15,9% de la Orinoquia tiene suelos aptos para soportar la presencia del ganado. *Noticias Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Colombia. Obtenido de IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Perez Montiel, H. (2015). *Física General* (5ta ed.). Patria.

Phiri, S., Amézquita, E., Rao, I. M., & Singh, B. R. (Noviembre de 2001). Disc harrowing intensity and its impact on soil properties and plant growth of agropastoral systems in the Llanos of Colombia. *Soil and Tillage Research*, 62, 131-143. Obtenido de Centro Internacional de Agricultura (CIAT).

POT. (2015). *Componente rural del Plan de Ordenamiento Territorial. Documento Técnico de soporte*. Villavicencio, Colombia.

Pound, B. (1994). Natural Resources Institute. Feed Resources Group. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *Cultivos de Cobertura para la*

Agricultura Sostenible en América Latina. Reino Unido UK. Obtenido de FAO.

Quevauviller, P. (2008). *Quality Assurance in Environmental Monitoring: Sampling and Sample Pretreatment*. (J. Wiley, & Sons, Edits.) Weinheim, Alemania: VCH Wiley.

Ríos Ramírez, J. N. (2006). Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del Río Jabonal, cuenca del Río Barranca, Costa Rica (Tesis de maestría). *Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Rivera Peña, M. (2008). *Determinación de la dinámica del agua en el sistema agroforestal Quesungual e identificación de factores suelo-planta para el mejoramiento de la productividad del agua en los cultivos (Tesis doctoral)*. Universidad Nacional de Colombia, 335. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Rojas W., C. (10 de Marzo de 2006). Interpretación de la Disponibilidad de Fósforo en los Suelos de Chile. En R. Campillo Rocco (Ed.), *Manejo de los recursos naturales en el sistema de incentivos para la recuperación de suelos degradados de la Araucanía* (págs. 24-43). Temuco, Chile. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de Interpretación de la disponibilidad de Fósforo en los suelos de Chile: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33852.pdf>

Rollán, A. A.; S. Karlin, M.; Bachmeier, O. A. (Enero de 2004). Siembra directa y densificación subsuperficial en molisoles del centro norte de Córdoba. *XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Congreso llevado a cabo en Córdoba, Argentina.

Rubio Jiménez, D. (Marzo de 2002). Un nuevo escenario para modificar la distribución de la tierra en Colombia. *Revista de la Contraloría General de la República*(295), 90-95.

Ruiz Romera, E., & Martínez Santos, M. (2015). *Open course ware*. Obtenido de Open course ware:

https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/4575/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf

Sadeghian, S., Rivera, J., & Gómez, M. E. (Agosto de 1998). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. *Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica"*

Sadzawka R., A., & Campillo R., R. (1993). Problemática de la acidez de los suelos de la IX región. En R. Campillo R. (Ed.), *Acidez de los suelos en la región de la Araucanía* (págs. 2-8).

Sánchez E., J.A. 2010. *Los suelos de Colombia*. En: Burbano O., H. y Silva M., F. (Eds). *Ciencias del suelo principios básicos*. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá, Colombia.

Schlegel, F. M., & FAO. (1996). Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas. En FAO (Ed.), *Ecología y enseñanza rural* (Vol. 131, pág. 187).

SIAC. (s.f.). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM): <http://www.ideam.gov.co/web/siac/sueloscolombia>

Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (06 de Marzo de 2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23). Obtenido de Scientific Electronic Library Online: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-63462009000100002&lng=en&tlng=es

SQI Soil Quality Institute, USDA The United States Department of Agriculture, National Soil Survey Center, NRCS, National Soil Tilth Laboratory, & Agricultural Research Service. (Abril de 1996). Indicators for Sol Quality Evaluation. *Soil Quality Information Sheet*.

Suárez Puerto, L. (Junio de 2014). Breve mirada al proceso de urbanización en el Meta y Villavicencio, desde la nueva presión económica y social. (A. J. Castro Riveros, Ed.) *GEON (Gestión, Organizaciones y Negocios)*, 2(2), 53-58. Obtenido de Revistageon.

Terrence, J., Foster, G., & Renard, K. (2002). *Soil erosion: processes, prediction, measurement and control*. New York, Estados Unidos: John Wiley and Sons.

Tovar Castaño, J. C. (Enero de 2008). *Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamientos de Trichoderma spp frente al hongo Fitopatógeno Rhizoctonia solani (Tesis de pregrado)*. Universidad Javeriana. Bogota, Colombia. Obtenido de Biblioteca Pontificia Universidad Javeriana.

UNESCO, & PHI. (2010). *Procesos de erosión- Sedimentación en cauces y cuencas* (Vol. 1). (J. D. Brea, & F. Balocci, Edits.)

Villareal, H. M., Álvarez, M., Córdoba-Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., . . . Umaña, A. M. (2004, Mayo). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. (I. d. Humboldt, Ed.) Bogotá, Colombia. Retrieved from <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf?sequence=1&isAllowed=y>


Apéndices

Apéndice A. Resultado de análisis de suelos hoja 1.

	UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS										CÓDIGO: FO-GAA-92						
	PROCESO GESTION DE APOYO A LA ACADEMIA										VERSIÓN: 01	PAGINA: 1 de 2					
	FORMATO ENTREGA DE RESULTADO ANALISIS QUIMICO DE SUELOS										FECHA: 17/10/2012		VIGENCIA: 2012				
												Fecha de recibido					
												Día	Mes	Año			
												21	12	2017			
SOLICITANTE: ELIANA MARIA IZQUIERDO																	
MUNICIPIO: VILLAVICENCIO							DEPARTAMENTO: META										
FINCA: SAN FRANCISCO							VEREDA: LA ARGENTINA										
Muestra Lab. No.	Ident. de Campo	Text. Tacto	M.O. %	P. ppm	pH 1:1	CATIONES meq/100g suelos					CATIONES (ppm)						
						Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S	CIC
818	Lote 1 Bosque	F	2.6	181.2	4.7	1.50	1.70	0.10	0.13	0.08						2.07	
Valoración:			Medio	Alto	Muy Fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas con él Al	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal						Bajo	
819	Lote 2 sin uso actual	F	2.6	4.7	4.4	2.40	1.10	0.01	0.13	0.07						1.02	
Valoración:			Medio	Bajo	Muy Fuertemente ácido	Posible toxicidad por él Al	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal						Bajo	
820	Lote 3	FA	3.4	2.5	4.3	2.90	0.30	0.01	0.16	0.09						3.68	
Valoración:			Medio	Bajo	Muy Fuertemente ácido	Posible toxicidad por él Al	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal						Bajo	
821	Lote 4	AF	2.7	3.4	4.6	1.45	0.70	0.05	0.14	0.10							
Valoración:			Medio	Bajo	Muy Fuertemente ácido	Probablemente no hay problemas con él Al	Bajo	Bajo	Bajo	Nivel Normal							

Km. 12 vía Puerto López, Vereda Barcelona, Tel. (098) 6616800, ext. 119; Villavicencio - Meta
E-Mail laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co

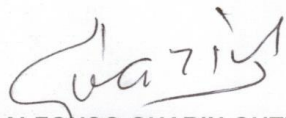
Apéndice B. Resultado de análisis de suelos hoja 2.

	UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS	CÓDIGO: FO-GAA-77	
	PROCESO GESTION APOYO A LA ACADEMIA	VERSIÓN:	PAGINA: 1 de 1
	FORMATO RESULTADO ANALISIS PORCENTAJE DE HUMEDAD	FECHA:	
		VIGENCIA:	

SOLICITANTE: ELIANA MARIA IZQUIERDO REY	
MUNICIPIO: VILLAVICENCIO	DEPARTAMENTO: META
FINCA: SAN FRANCISO	VEREDA: LA ARGENTINA

Muestra Lab. No.	Identificación del Campo	PORCENTAJE DE HUMEDAD (p.W)
818	LOTE # 1 BOSQUE	24.98
819	LOTE # 2 SIN USO ACTUAL	17.65
820	LOTE # 3	23.39
821	LOTE # 4	17.83

Villavicencio, Enero 25 de 2018


LUIS ALFONSO GUARIN GUTIERREZ
 Director Laboratorio de Suelos

Km. 12 Vía Puerto López - Vereda Barcelona - Teléfono (098) 6616800, Ext. 119
 Villavicencio (Meta)
 E-Mail laboratoriodesuelos@unillanos.edu.co

Apéndice C. Planilla de datos para muestreo de cuadrantes y transectos para el registro de cobertura vegetal.

Zona de estudio	N° transecto	N° cuadrante	Forma de vida	% Cobertura relativa	Abundancia
----------------------------	-------------------------	-------------------------	----------------------	---------------------------------	-------------------

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice D. Planilla de datos para calcular densidad aparente (método del cilindro) y humedad.

UBICACIÓN					FECHA
No.	Peso anillo	Volumen anillo	Peso suelo húmedo + anillo	Peso suelo seco + anillo	Densidad aparente del suelo

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice E. Planilla de datos para calcular densidad real (método del picnómetro).

FECHA						
No.	Wa Peso picn.	Ws picn. + suelo	Picn. + suelo + agua	Picn. + suelo + agua ebullida	P+S+A. Ebullida +A. hervida	T °C

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice F. Planilla de datos respecto a picnómetros para calcular densidad real.

	Picnómetro 1	Picnómetro 2	Picnómetro 3
Picn+tapa			
Picn+tapa+suelo			
Tapa			
Picn+tapa+agua hervida			

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice G. Planilla de datos para muestreo de cantidad de aire.

FECHA				
No.	Vt (Contenido de tierra)	V_{H₂O} (Volumen agua)	Vf (Volumen final)	% Aire

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice H. Planilla de datos para cálculo de porcentaje de porosidad.

FECHA			
No.	D real g/cm³	D aparente g/cm³	% Porosidad

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice I. Tabla de resultados velocidad de infiltración.

UBICACIÓN			FECHA
T(min)	Altura (mm)	Llenado (mm)	Tasa de infiltración mm/min

Fuente: Elaboración propia (2017).

Apéndice L. Instalación y ubicación de microparcelas de escorrentía.



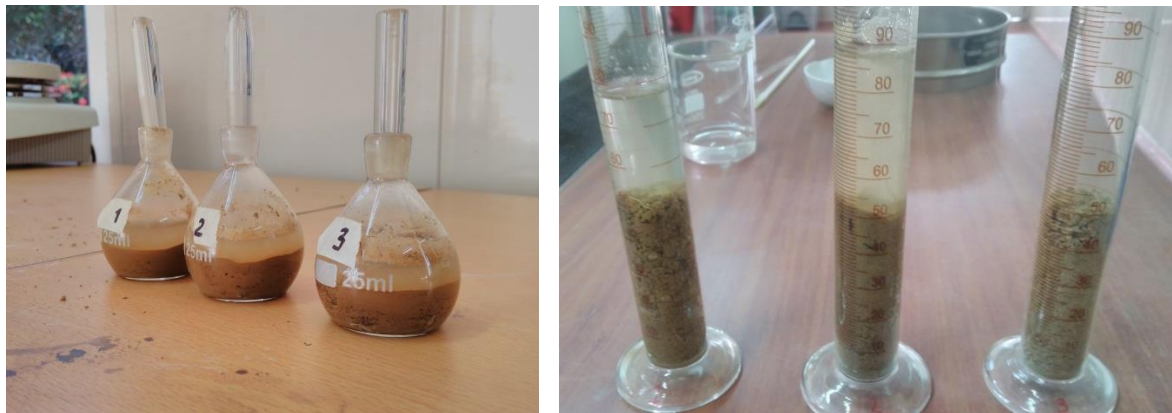
Apéndice M. Lecturas de velocidad de infiltración.



Apéndice N. Obtención de muestras para determinación de variables físicas del suelo.



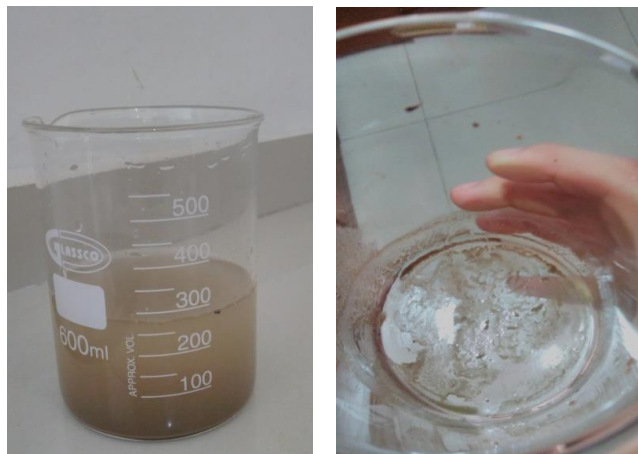
Apéndice O. Medición de densidad real y contenido de aire del suelo.



Apéndice P. Obtención de muestras para análisis químico del suelo.



Apéndice Q. Medición de pérdida de suelo por escorrentía superficial.



Apéndice R. Ubicación de trampas de caída y transectos para el muestreo de propiedades biológicas.



Apéndice S. Tabla base de datos recolectados en los sistemas evaluados.

BLOQUE	Da	g/ml	Drg/ml	%P	%H	%A	Infiltracion	c %	Escorrentia	Erosion Kg/Ha	Precipitacion	% M.O.	P ppm	pH	Al	Ca	Mg	K	Na	% Cr Arborea	% Cr Arbustiva	% Cr Herbacea	D. Arborea	D. Arbustiva	D. Herbacea	D. Hymenoptera	D. Coleoptera
1	1,6776	2,375	29,3506	48,8683	50	9,4941	17,5824	3,8462	7	2,6	181,2	4,7	1,5	1,7	0,1	0,13	0,08	3,1724	0,5287	96,2989	0,6	0,625	455,3	0,79	0,01		
1	1,6613	2,216	25,0396	45,9086	50	9,4941	21,3675	67,6323	72	2,6	181,2	4,7	1,5	1,7	0,1	0,13	0,08	2,9831	0,4746	96,5424	0,88	0,875	712	1,68	0,02		
1	1,7897	2,168	17,4542	42,2690	54	5,4353	17,0330	1,9231	7	2,6	181,2	4,7	1,5	1,7	0,1	0,13	0,08	3,1724	0,5287	96,2989	0,6	0,625	455,3	0,79	0,01		
1	1,7275	2,168	20,3200	37,6209	50	5,4353	22,9701	38,4615	72	2,6	181,2	4,7	1,5	1,7	0,1	0,13	0,08	2,9831	0,4746	96,5424	0,88	0,875	712	1,68	0,02		
1	1,4617	2,168	32,5821	62,1094	54	7,0941	15,3846	0	3	2,6	181,2	4,7	1,5	1,7	0,1	0,13	0,08	3,1724	0,5287	96,2989	0,6	0,625	455,3	0,79	0,01		
1	1,8457	2,375	22,2728	33,0427	55	7,0941	19,2308	0	50	2,6	181,2	4,7	1,5	1,7	0,1	0,13	0,08	2,9831	0,4746	96,5424	0,88	0,875	712	1,68	0,02		
2	1,9873	2,078	4,3546	36,0604	58	6,2471	11,8132	0	14	2,6	4,7	4,4	2,4	1,1	0,01	0,13	0,07	0,3051	0,2288	99,4661	0,08	0,375	652	0,12	0,01		
2	1,8080	1,996	9,4007	35,0766	55	6,2471	16,3170	34,6154	132	2,6	4,7	4,4	2,4	1,1	0,01	0,13	0,07	0,6307	0,4205	98,9488	0,12	0,5	470,7	0,26	0,01		
2	1,6012	1,813	11,6959	59,1111	50	6,4588	11,7692	3,0769	10	2,6	4,7	4,4	2,4	1,1	0,01	0,13	0,07	0,3051	0,2288	99,4661	0,08	0,375	652	0,12	0,01		
2	1,6756	1,848	9,3190	40,8480	52,5	6,4588	12,2378	76,9231	110	2,6	4,7	4,4	2,4	1,1	0,01	0,13	0,07	0,6307	0,4205	98,9488	0,12	0,5	470,7	0,26	0,01		
2	1,8355	2,168	15,3400	40,5861	46	8,7529	11,8343	0,7692	13	2,6	4,7	4,4	2,4	1,1	0,01	0,13	0,07	0,3051	0,2288	99,4661	0,08	0,375	652	0,12	0,01		
2	1,7082	2,320	26,3864	40,1777	58,8	8,7529	12,0629	39,6154	110	2,6	4,7	4,4	2,4	1,1	0,01	0,13	0,07	0,6307	0,4205	98,9488	0,12	0,5	470,7	0,26	0,01		
3	1,7795	2,267	21,4925	46,0302	48	7,8000	11,1336	0,3846	19	3,4	2,5	4,3	2,9	0,3	0,01	0,16	0,09	0,1146	0,3439	99,5415	0,04	0,75	868,3	0,63	0,02		
3	1,8294	2,216	17,4562	36,7950	50	7,8000	14,5782	44,2308	124	3,4	2,5	4,3	2,9	0,3	0,01	0,16	0,09	0,1479	0,5917	99,2604	0,04	1	671	1,56	0,04		
3	1,5605	2,122	26,4602	60,7595	46	12,1059	6,6667	0,3846	15	3,4	2,5	4,3	2,9	0,3	0,01	0,16	0,09	0,1146	0,3439	99,5415	0,04	0,75	868,3	0,63	0,02		
3	1,6695	2,078	19,6500	39,0346	53,8	12,1059	11,5385	39,6154	100	3,4	2,5	4,3	2,9	0,3	0,01	0,16	0,09	0,1479	0,5917	99,2604	0,04	1	671	1,56	0,04		
3	1,8396	2,216	16,9966	43,1757	50	4,2	8,9744	3,0769	18	3,4	2,5	4,3	2,9	0,3	0,01	0,16	0,09	0,1146	0,3439	99,5415	0,04	0,75	868,3	0,63	0,02		
3	1,6145	2,078	22,2973	43,7637	55	4,2	12,0664	61,5385	102	3,4	2,5	4,3	2,9	0,3	0,01	0,16	0,09	0,1479	0,5917	99,2604	0,04	1	671	1,56	0,04		
4	1,5595	1,749	10,826	61,8772	62	1,9333	17,0940	0,3846	9	2,7	3,4	4,6	1,45	0,7	0,05	0,14	0,1	0,1460	0	99,8540	0,04	0	684	0,07	0,01		
4	1,9323	2,320	16,729	24,5484	60	1,9333	23,7762	76,9231	55	2,7	3,4	4,6	1,45	0,7	0,05	0,14	0,1	0	0,1137	99,8863	0	0,125	439,3	0,32	0		
4	1,7010	1,719	1,0235	44,8718	48	3,0353	14,7929	3,0769	13	2,7	3,4	4,6	1,45	0,7	0,05	0,14	0,1	0,1460	0	99,8540	0,04	0	684	0,07	0,01		
4	1,6746	1,919	12,731	37,0637	47,5	3,0353	22,1286	42,3077	73	2,7	3,4	4,6	1,45	0,7	0,05	0,14	0,1	0	0,1137	99,8863	0	0,125	439,3	0,32	0		
4	1,8274	2,034	10,173	39,3912	54	56,0471	15,0888	15,3846	13	2,7	3,4	4,6	1,45	0,7	0,05	0,14	0,1	0,1460	0	99,8540	0,04	0	684	0,07	0,01		
4	1,7061	2,169	21,344	31,8648	47,5	56,0471	22,3558	34,6154	80	2,7	3,4	4,6	1,45	0,7	0,05	0,14	0,1	0	0,1137	99,8863	0	0,125	439,3	0,32	0		

Elaborado por: Enciso Castro & Izquierdo Rey, 2018.

