



**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y ESCORRENTÍA EN TRES
SISTEMAS PRODUCTIVOS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL SUELO EN LA
VEREDA SANTA MARTA, CABRERA, CUNDINAMARCA.**

**VIVIANA LISBETH GUTIÉRREZ PAJARITO
PEDRO LUIS PINZÓN ROJAS**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE AGROECOLOGÍA
BOGOTÁ D.C 2017**

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y ESCORRENTÍA EN TRES
SISTEMAS PRODUCTIVOS PARA LOGRAR UN MANEJO SOSTENIBLE DEL
SUELO EN LA VEREDA SANTA MARTA, CABRERA, CUNDINAMARCA.**

**VIVIANA LISBETH GUTIÉRREZ PAJARITO
PEDRO LUIS PINZÓN ROJAS**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero en Agroecología

DIRECTOR:

MARIO DE JESÚS MOLANO COGUA

I. A. M.Sc. Riego y Drenaje

CODIRECTOR:

ALVARO ACEVEDO ÓSORIO

I. A. PhD Agroecología

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE AGROECOLOGÍA
BOGOTÁ D.C 2017**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen María por inspirar nuestro espíritu y habernos permitido llegar a este punto, por darnos salud para cumplir nuestros objetivos y por su infinito amor.

A nuestros padres y hermanos por apoyarnos en todo momento, por sus consejos, sus palabras de fortaleza, por su dedicación para hacer de nosotros lo que somos, por motivarnos a crecer con perseverancia y constancia y en definitiva por su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por sus bendiciones durante el desarrollo de este proyecto y de nuestra carrera, por darnos la fuerza y voluntad para superar las dificultades y culminar satisfactoriamente este proceso.

Una infinita gratitud a nuestras familias Pinzón- Rojas y Gutiérrez- Pajarito por su apoyo en todos los sentidos, por motivarnos siempre ante las dificultades y brindarnos todas las herramientas para la elaboración de este proyecto.

A Oscar López por su comprensión, colaboración, acompañamiento, por motivarnos siempre y por todo su incondicional apoyo espiritual.

A la Corporación Universitaria Minuto de Dios por el financiamiento del proyecto.

Gracias a los agricultores Milena y Jenny Pineda, Nelson Sierra y Carmen Prieto; a ellos y a sus familias por permitirnos trabajar juntos, por su disposición, por todo lo aprendido durante el proceso y por su inmensa colaboración e interés investigativo.

Agradecemos enormemente a nuestro director Mario de Jesús Molano Cogua y nuestro codirector Álvaro Acevedo Osorio, por tener siempre la disponibilidad y dedicación de tiempo en el desarrollo de cada detalle de este proyecto, por orientarnos, animarnos, por todo su compromiso y colaboración.

Mil gracias a todos aquellos que nos apoyaron y acompañaron en el desarrollo de esta investigación y de nuestra carrera.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
INDICE DE ANEXOS.....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
1 PROBLEMÁTICA.....	14
1.1 Problema de Investigación	14
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos	18
2 MARCO REFERENCIAL	19
2.1 Generalidades	19
2.1.1 Zona de Reserva Campesina	19
2.1.2 Ciclo hidrológico.....	19
2.2 Propiedades físicas de suelos	20
2.2.1 Textura.....	22
2.2.2 Estructura e Índice de Estabilidad Estructural	23
2.2.3 Densidad aparente, Densidad real y Porosidad	25
2.2.4 Compactación	26

2.3	Erosión	27
2.3.1	Erosión hídrica	27
2.3.2	Factores asociados a la Erosión Hídrica.....	28
2.3.3	Tipos de erosión hídrica	31
2.3.4	Modelos de evaluación de erosión hídrica	32
2.4	Factores asociados a parámetros hídricos	33
2.4.1	Precipitación.....	33
2.4.2	Infiltración.....	33
2.4.3	Escorrentía.....	34
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	Tipo de investigación	37
3.2	Hipótesis.....	37
3.3	Descripción del área de estudio.....	37
3.4	Fases, métodos y herramientas de investigación.....	39
3.5	Descripción del procedimiento.....	39
3.5.1	Fase 1: Selección, caracterización de área de muestreo y montaje de parcelas experimentales	39
3.5.2	Fase 2: Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos del suelo	42
4	ÁNÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48

4.1.1 Fase 1: Selección, caracterización de área de muestreo y montaje de parcelas experimentales	48
4.1.2 Fase 2: Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hídricos .	51
5 CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Referencia de escala de lectura para penetrómetro	43
Tabla 2. Caracterización de fincas según criterios de selección	49
Tabla 3. Descripción de prácticas de manejo y uso del suelo	50
Tabla 4. Análisis de probabilidad de recurrencia precipitación máxima en 24h	52
Tabla 5. Propiedades físicas y parámetros hidrodinámicos de los suelos de las parcelas de escorrentía.	54
Tabla 6. Pérdidas totales por erosión hídrica y escorrentía total.....	56
Tabla 7. ANOVA Precipitación VS Erosión en Finca El Triunfo	60
Tabla 8. ANOVA Precipitación VS Escorrentía en Finca El Triunfo	60
Tabla 9. ANOVA Precipitación VS Erosión en Finca La Libertad	62
Tabla 10. ANOVA Precipitación VS Escorrentía en Finca La Libertad	63
Tabla 11. ANOVA Precipitación VS Erosión en Finca El Roble.....	65
Tabla 12. ANOVA Precipitación VS Escorrentía en Finca El Roble	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico	20
Figura 2. Clasificación textural de un suelo.....	23
Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de estudio..	38
Figura 4. Proceso metodológico de investigación.	39
Figura 5. Modelo parcela de escorrentía.....	41
Figura 6. Localización de fincas objeto de estudio.....	48
Figura 7. Precipitación total mensual histórica.....	51
Figura 8. Comportamiento de la precipitación en los sistemas VS registros históricos ...	52
Figura 9. Totales por finca y sistemas de precipitación, erosión y escorrentía.....	57

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registros Históricos IDEAM valores totales mensuales de precipitación estación Cabrera	83
Anexo 2. Uso productivo del suelo en la Finca El Roble	85
Anexo 3. Uso productivo del suelo en la finca El Triunfo.....	86
Anexo 4. Uso productivo del suelo en la finca La Libertad.....	87
Anexo 5. Formato de entrevista semiestructurada para el uso y manejo de suelos	88
Anexo 6. Ubicación de batería de infiltrómetros	89
Anexo 7. Procedimiento para el cálculo de densidades	89
Anexo 8. Análisis de probabilidad de precipitación máxima en 24 horas	90
Anexo 9. Registros Finca El Triunfo	91
Anexo 10. Registros finca La Libertad	92
Anexo 11. Registros finca El Roble	94

RESUMEN

La pérdida y degradación de suelo por erosión hídrica es una problemática que afecta en algún grado a más del 50% de la superficie colombiana. La erosión hídrica conlleva efectos como la alteración en las propiedades físicas del suelo y los contenidos de materia orgánica, disminuyendo la fertilidad y productividad y genera también impactos ambientales indirectos debido al arrastre y sedimentación de partículas de suelo en cuencas hidrográficas.

Es por eso, que se lleva a cabo la presente investigación con el objetivo de comparar la escorrentía y la erosión hídrica por medio de parcelas de escorrentía en tres sistemas productivos, encontrando pérdidas por erosión más altas en sistemas de cultivo que en sistemas de pradera y mayor volumen de agua escurrida en sistemas de área arborizada respecto a los demás sistemas. Esto permitió concluir la influencia del tipo de cobertura vegetal, las propiedades físicas y el manejo del suelo con el impacto de la erosión en el mismo.

Palabras clave: degradación, cobertura vegetal, propiedades físicas

ABSTRACT

The loss and degradation of soil by water erosion is a problematic that affects in some degree to more than the 50% of the Colombian land. Water erosion involves effects as the alteration in the physical properties of the soil and the organic matter contents, decreasing fertility and productivity and also generates indirect environmental impacts due to the drag and sedimentation of particles of soil in river basins.

Is therefore carrying out this research with the aim of compare the runoff and erosion by runoff in three production systems plots, finding losses by erosion higher cropping systems in pasture systems and greater drained water volume in forest systems with regard to other systems. This allowed conclude the influence of the type of coverage vegetable, the physical properties and the use of the soil with the impact of the erosion in the same.

Key words: degradation, vegetation, physical properties

INTRODUCCIÓN

La pérdida y degradación de suelo es una problemática que puede darse bien sea por factores naturales, dentro de los cuales se encuentra la erosión ligada a parámetros hidrodinámicos y cobertura del suelo o por factores antropogénicos ligados al uso y manejo de los mismos. En Colombia los procesos de degradación que más afectan los suelos son la erosión, el uso del suelo con vocación agropecuaria en infraestructura, la contaminación por residuos, la pérdida de materia orgánica y de carbono, la salinización, la compactación y finalmente la desertificación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2015).

La erosión altera el contenido de materia orgánica del suelo afectando propiedades del mismo como la capacidad de retención de agua, la estabilidad estructural en cuanto al porcentaje de arcillas, la densidad y la infiltración (FAO, 2003). La relación causa- efecto entre la agricultura convencional y la erosión del suelo, es directa; las prácticas históricas aplicadas a un suelo como la labranza intensiva, los monocultivos, la falta de cobertura del suelo, entre otras, hace que éste se encuentre expuesto al efecto erosivo de la lluvia (Gliessman, 2002). A su vez la reducción de la fertilidad natural del suelo aumenta los costos de producción, ya que el suelo demanda una mayor cantidad de fertilizantes (Ramirez, Hincapie, & Sadeghian, 2009).

A partir de esto surge la iniciativa de evaluar la erosión hídrica en la Zona de Reserva Campesina de Cabrera reconociendo y fortaleciendo las capacidades como investigadores de los agricultores, con el fin de obtener un primer acercamiento al estado de los suelos de la zona en la búsqueda de estrategias que solucione la problemática dentro del marco de un manejo sostenible de este bien natural.

1 PROBLEMÁTICA

1.1 Problema de Investigación

La pérdida de suelo por efecto de la lluvia y el escurrimiento superficial provocan desagregación de las partículas de suelo lo que se conoce como erosión hídrica. Este proceso conlleva consecuencias directas en la capacidad productiva del suelo, e indirectas como el desabastecimiento de producción, la sedimentación en cuencas hídricas que afectan la biodiversidad y los ecosistemas, entre otras (Ellison, 1947).

El 80% de los sedimentos almacenados en cuerpos hídricos marítimos son transportados por el flujo de agua de ríos y el 20% restante se transporta a través del viento; estos materiales suspendidos y los contaminantes que se transportan por medio del agua generan susceptibilidad a crecidas e inundaciones en épocas de lluvia y alteran el hábitat acuático como resultado de la sedimentación, la eutrofización, los cambios en el PH y la temperatura interna del agua, entre otros, conllevando a la pérdida de ecosistemas, especialmente desecación de humedales y reducción de bosques de manglar (Escobar, 2002); (Prat & Munne, 2011); (Ellison, 1947).

Se calcula que a causa de la contaminación de recursos hídricos se encuentran en riesgo 37% de los peces de agua dulce, 67% de las especies de moluscos, 52% de especies de crustáceos y el 40% de los anfibios a nivel nacional (Escobar, 2002).

La erosión está afectando casi el 20% de los suelos del mundo y a casi 1.500 millones de personas que viven de cultivar estos suelos (FAO, 2003). A nivel mundial la erosión hídrica es causante de la degradación del 66% de las tierras potencialmente cultivables, equivalentes a 20 millones de km² de los 130 millones de km² que comprenden la superficie continental (Bautista & Palacios, 2005).

Según el informe “*El estado de los recursos de suelos en el mundo*” (FAO, 2015) se pierden a causa de la erosión entre 25 y 40 millones de toneladas de la capa arable del suelo anualmente, reduciendo los rendimientos productivos y la capacidad del suelo de almacenar agua, carbono y nutrientes como actor dentro del ciclo de los mismos.

Los suelos son el mayor almacén de carbono terrestre y cuando se manejan de una forma poco sostenible el carbono se libera en forma de dióxido de carbono contribuyendo al cambio climático y a la emisión de gases de efecto invernadero; los cambios de uso del suelo de bosques y praderas a cultivos es responsable del 10% de todas las emisiones de dichos gases (FAO, 2015). La pérdida de suelo se acelera cuando se preparan tierras situadas en pendientes o se eliminan las coberturas vegetales; al igual, que cuando se permite el sobrepastoreo de rumiantes o se talan indiscriminadamente los bosques (Kelley, 1983).

Los cambios de uso y cobertura del suelo en Colombia se ven reflejados en el Censo Nacional Agropecuario de 2014, donde se indica que de las 11,5 millones de hectáreas censadas el 56,7% corresponde a bosques naturales y el 38,6% a uso agropecuario; o sea, 4,44 millones de hectáreas, dentro de las cuales el 79,7% se destina a pastos y rastrojos y el 20,1% a cultivos agrícolas. Así mismo en el departamento de Cundinamarca aproximadamente el 35% corresponde a bosques naturales y un 60% del área rural censada corresponde a uso agropecuario, donde un 30% es dedicado a cultivos y un 68% a pastos (DANE, 2016).

A nivel nacional la acción de la lluvia incide en el 97% de la erosión de los suelos (Hincapié & Ramirez, 2010). Actualmente solo el 24,8% del país no está afectado por erosión, mientras que la erosión hídrica afecta en algún grado a más del 50% de la superficie nacional; 4.3 millones de hectáreas cultivables de forma severa y 12.9 millones de hectáreas de forma moderada, considerándose en consecuencia el proceso de degradación de suelos más importante. (IGAC; IDEAM; MAVDT, 2010). En el departamento de Cundinamarca se presentan graves problemas de erosión y compactación; siendo la lluvia el principal agente natural causante de éstos, los cuales son favorecidos por las pendientes fuertes y por la implementación de prácticas agropecuarias inadecuadas para el suelo (FAO, 2003); (IGAC, 2000).

Ésta problemática viene dejando por fuera de la actividad económica algo más de 2.300.000 hectáreas, a una tasa superior a 1,8 toneladas por kilómetro cuadrado al año, el doble del promedio para América del Sur (IGAC; IDEAM; MAVDT, 2010). A pesar de tratarse de un proceso físico, tiene grandes repercusiones económicas y sociales ya que afecta la productividad y la

disponibilidad de alimentos, la calidad y cantidad de agua (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

La zona de Reserva Campesina de Cabrera (ZRCC) se encuentra geográficamente ubicada en el macizo y cuenca del río Sumapaz; constituyéndose en un ecosistema paramuno estratégico ambientalmente en cuanto al abastecimiento, la generación y regulación de los recursos hídricos de la cuenca del Río Orinoco y el río Magdalena, que finalmente vierte sus aguas en el Mar Caribe a donde llegan aproximadamente 220 millones t/año de sedimentos por los ríos, de los cuales el 56% son transportados por el río Magdalena (Escobar, 2002); (Prat & Munne, 2011); (Alcaldía Municipal de Cabrera Cundinamarca, 2012).

La problemática de erosión ha sido escasamente analizada en la ZRCC, sin embargo, las condiciones climáticas y geográficas de la región son factores que favorecen la presencia de erosión hídrica, por lo cual, nace la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es la cantidad de suelo perdido por erosión hídrica en sistemas de pradera, áreas arborizadas y cultivos en la Vereda Santa Marta, Zona de Reserva Campesina de Cabrera Cundinamarca?

1.2 Justificación

El suelo es un bien natural vivo que cumple diversas funciones en el ecosistema como servir de medio de soporte donde se reciclan nutrientes, se regula y almacena el agua del ciclo hidrológico, se establece una dinámica de flujo de materia y energía, entre otras funciones ecológicas y desde el punto de vista socio-económico es un recurso finito que ofrece bienes y servicios en donde se desarrollan actividades humanas agropecuarias e industriales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

En Colombia la erosión es una problemática que requiere de atención y manejo; las cifras sobre pérdida de suelos a nivel nacional, indican la gravedad del problema: 170.000 a 200.000 ha/año, teniendo en cuenta solo una profundidad de 20 centímetros (CAR, 2006). Específicamente en el caso de la región Andina, de acuerdo con las estadísticas, un 80% de la extensión territorial presenta erosión y el proceso de degradación del suelo avanza a razón de 2.000 hectáreas por año (Torres, 2000). En este sentido el Tercer Censo Nacional Agropecuario indica que un 74,2% de

los agricultores censados realizan prácticas de protección del suelo, de las cuales solo el 4,9% corresponde a prácticas de conservación y siembra de coberturas vegetales, mientras que un 92,2% predomina la siembra sin remoción de suelo, el enrastramiento y labranza mínima; siendo esta última la más aplicada en la región Andina (DANE, 2014).

Todas las veredas de la Zona de Reserva Campesina de Cabrera presentan algún riesgo de erosión según el Plan de Desarrollo Sostenible Municipal desde erosión baja hasta remoción en masa en las zonas más altas (Alcaldía Municipal de Cabrera Cundinamarca, 2012).

El bajo nivel de ingresos, la falta de aplicación de políticas y de tecnologías adecuadas, hacen que los agricultores, hagan uso intensivo de las tierras y aumenten la frontera agrícola por falta de recursos y conocimientos respecto a la problemática de erosión y manejo sostenible del suelo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004), de no tomarse medidas preventivas y correctivas la degradación de los suelos puede ser inminente conllevando a toda la serie de impactos ambientales, sociales y económicos mencionados anteriormente.

Esta investigación permite que los agricultores y los asistentes técnicos puedan comprender la problemática de la erosión e implementar acciones dentro del manejo y la conservación de suelos que mitiguen la misma, teniendo además la bondad de generar en los agricultores una iniciativa de investigación y de constante búsqueda de soluciones al vincularlos en el proceso continuo del proyecto.

1.3 Objetivos

Objetivo general

- Realizar un análisis comparativo de la escorrentía y la erosión hídrica en tres sistemas productivos: pradera, áreas arborizadas y cultivos, para recomendar estrategias de solución dentro del manejo sostenible de suelos.

Objetivos Específicos

- Determinar el impacto de la precipitación en la pérdida de suelo y escorrentía en cada uno de los sistemas productivos, mediante el uso de parcelas de escorrentía.
- Asociar la escorrentía y la erosión hídrica frente a las propiedades físicas del suelo caracterizadas.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 Generalidades

2.1.1 Zona de Reserva Campesina

Las Zonas de Reserva Campesina son áreas geográficas seleccionadas por la Junta Directiva del INCORA, teniendo en cuenta las características agroecológicas y socioeconómicas regionales. En la reglamentación que rige las mismas se indican las UAF o extensiones mínimas y máximas de tierra que se adjudican, y los requisitos, condiciones y obligaciones que deberán acreditar y cumplir los ocupantes de los terrenos. En la actualidad Colombia cuenta con 6 zonas de reserva campesina constituidas (LEY 160, 1994).

La Ley 160 presenta la Zona de Reserva Campesina como una figura de regulación ambiental y de la propiedad orientada a evitar la concentración de la tierra en áreas de colonización frenando los latifundios, particularmente en las zonas de baldíos y de especial manejo ambiental (INCODER, ILSA, SINPEAGRICUN, 2012).

La Zona de Reserva Campesina de Cabrera nace de un movimiento campesino de larga trayectoria histórica en búsqueda de una reforma agraria integral, promoviendo a su vez una solución al conflicto armado y una construcción de una vida campesina digna garantizando la seguridad y soberanía alimentaria a través de una producción agropecuaria alternativa (INCODER, ILSA, SINPEAGRICUN, 2012).

2.1.2 Ciclo hidrológico

El ciclo del agua es el proceso de abastecimiento de agua para plantas, animales y el hombre. Su fundamento es que toda gota de agua, recorre un círculo cerrado por distintas vías; el ciclo hidrológico no tiene un camino único. Se parte en la nube como elemento de origen, desde ella se tienen distintas formas de precipitación, con lo que se puede considerar que inicia el ciclo. El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se

definen diferentes etapas o fases (Ver figura 1); estas por su manera de enlazarse, generan el ciclo, ya que su inicio ocurre donde posteriormente concluye (Londoño, 2001).

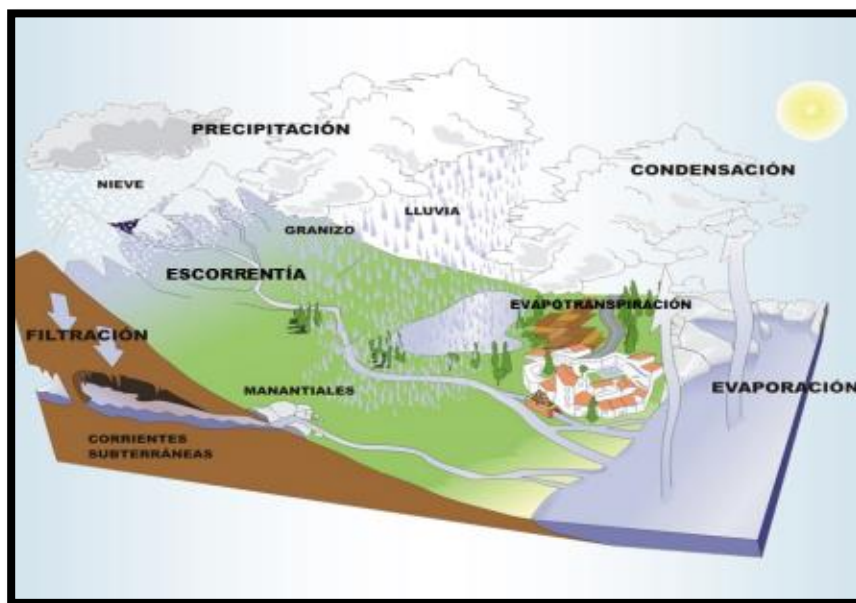


Figura 1. Ciclo hidrológico Fuente: Ordoñez (2012).

2.2 Propiedades físicas de suelos

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos que el hombre da a los mismos ya que definen, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks, García, Cplan, Ponce de León, & Hill, 2004).

Algunas acciones antropogénicas como la labranza y el uso de plaguicidas de síntesis química y alteran el balance de las complejas relaciones que se llevan a cabo en el sistema suelo. La adsorción y evolución de plaguicidas depende de las propiedades físicas del suelo que pueden verse modificadas a su vez por su uso además de producir en algunos casos toxicidad en el agua por movilidad superficial y sub superficial, en el suelo mismo y en los productos agrícolas por acumulación (Ramirez T. , 2009).

Según Sanchez & Sanchez (1984), los suelos con gran cantidad de arcillas tienen mayor capacidad de adsorción de partículas de plaguicidas inactivandolas y conllevando a dosis de aplicación cada vez mayores; adicionalmente, los plaguicidas organoclorados pueden persistir en el suelo durante más de 20 años mientras que los insecticidas organofosforados tienden a desaparecer en un tiempo de 2 a 12 semanas.

En el caso de la labranza su objetivo inicial es proporcionar una buena estructura para el desarrollo de raíces, controlar arvenses, manejar los residuos de los cultivos, realizar labores de siembra y cosecha, entre otras. Sin embargo, la labranza incorrecta y excesiva, puede resultar en el efecto opuesto y es así como se constituye en una de las causas de erosión y degradación física de éste bien natural (FAO, 2000).

La degradación física del suelo se expresa como encostramiento superficial, debajo de la capa arada se causa compactación, disminuyendo en consecuencia propiedades físicas del suelo como la densidad aparente y la tasa de infiltración, aumentando la escorrentía y la erosión (Cabeda, 1983).

Según el Banco Mundial (2008) en una evaluación de las propiedades físicas del suelo en subsistemas agrícolas se encontró que el lote de bosque presentó las mejores condiciones en 57% de los indicadores formulados mientras que los demás lotes demostraron algún defecto de calidad en las propiedades del suelo reflejando que posiblemente se debe a prácticas como el laboreo mecanizado que estén generando un efecto negativo sobre el suelo de lotes cultivados.

Otro efecto de prácticas de labranza excesiva es la disminución en propiedades como la estabilidad estructural y el porcentaje de porosidad debido a la aceleración en la descomposición de la materia orgánica, que estas prácticas generan (Thompson & Troeh, 1998).

Teniendo en cuenta que las propiedades físicas son las más difíciles de corregir en el suelo cuando sufren algún deterioro, se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra conocerlas con el fin de entender la relación entre las mismas y el desarrollo de las plantas y presencia de fauna.

2.2.1 Textura.

La textura es considerada una de las propiedades físicas de suelos más estable, que puede modificarse ligeramente mediante prácticas de manejo donde se mezclan sus capas. Se considera una característica de gran importancia pues cumple un papel determinante en la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y en la velocidad de consumo del recurso por parte de las plantas (USDA, 1999).

El tipo de cobertura vegetal de un suelo influye en algunas propiedades físicas, modificando así las propiedades hídricas del suelo. En suelos con mayor cobertura arbórea o coberturas estratificadas la tasa de infiltración aumenta debido al contenido de materia orgánica y la profundidad y abundancia del sistema radicular (Sanchez, Pinilla, & Mancera, 2015).

En consecuencia, el estudio de la textura permite correlacionar la capacidad de infiltración y el potencial de retención de agua con la susceptibilidad de erosión, dependiendo del tamaño de partículas que predomine en un suelo. Los suelos con altos porcentajes de limos y arenas son los más erosionables pues poseen menor cohesión entre partículas que las arcillas y por tanto son más fáciles de remover y transportar (Stocking & Murnaghan, 2003).

En edafología las partículas de un suelo se clasifican en elementos gruesos (tamaño de diámetro superior a 2 mm) y elementos finos (tamaño inferior a 2 mm); estos últimos son los utilizados para definir la textura de un suelo. Siguiendo la terminología establecida por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América), tenemos las clases texturales citadas por (Gavande, 1972) en la figura 2.

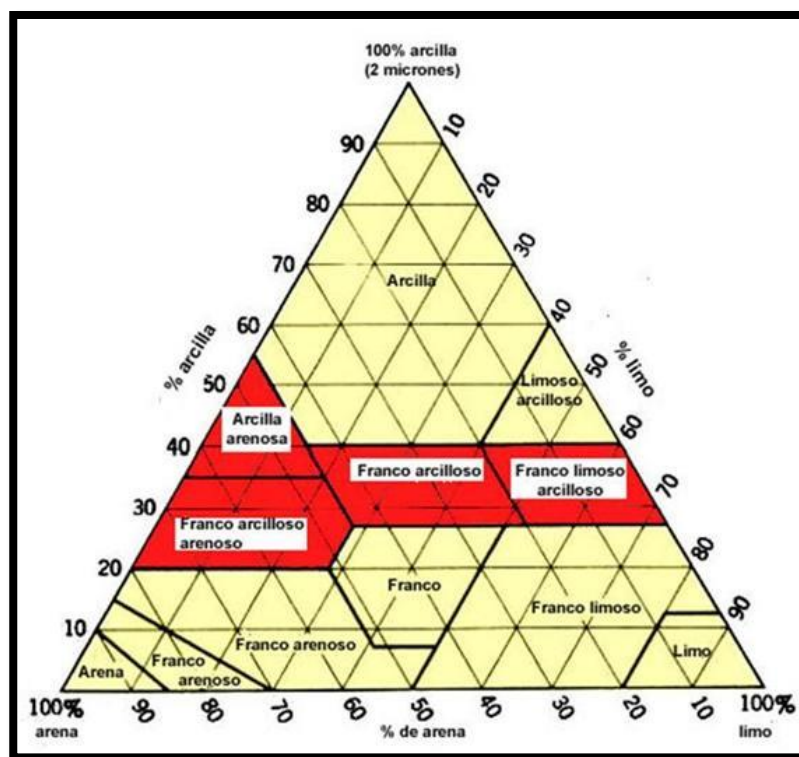


Figura 2. Clasificación textural de un suelo Fuente: Gavande (1972)

Se considera que una textura ideal en términos productivos es aquella con contenidos de arcilla entre 7 y 27% y limos entre 28 y 50% , es decir un suelo franco caracterizado por ofrecer una buena retención de agua, favorecer la difusión de gases, y optimizar el desarrollo de las plantas (Abi-Saab, 2012); (Ibarra, Ruiz, Gonzales, & Flores, 2008).

2.2.2 Estructura e Índice de Estabilidad Estructural

La textura de los suelos, origina estructuras diferentes en cuanto a porosidad y agregación, que dan lugar a posibles problemas de: compactación, aireación, capacidad de retención hídrica, permeabilidad, etc. (Lacasta, Meco, & Naire, 2005); es por ello que la estructura se refiere a la agregación de partículas individuales del suelo mediante coloides para generar unidades de mayor tamaño conocidas como agregados o terrones (Ibañez, Gisbert, & Moreno, 2010).

En el desarrollo de la estructura de un suelo intervienen principalmente tres factores: en primer lugar la fauna del suelo que se encarga de agrupar y cementar mecánicamente partículas mediante hifas, raicillas o exudados; en segundo lugar los ciclos de humedad y sequía que

producen la deshidratación progresiva de los coloides y la cementación de los agregados y en tercer lugar el manejo del suelo, pues las malas prácticas de manejo como la labranza, la ganadería intensiva y la baja cobertura vegetal causan la desagregación del suelo y destruyen su estructura generando compactación, pérdida de fertilidad y erosión (Jaramillo, 2002); (FAO, 2000).

Los suelos bien agregados son más resistentes a la erosión, ya que los agregados son mucho más pesados que sus partículas componentes, en un suelo disperso, cada partícula individual de suelo es fácilmente desprendida por el viento o transportada por escorrentía (Jaramillo, 2002); (Sullivan, 2007).

Una buena calidad de la estructura significa un espacio poroso óptimo tanto en cantidad como en distribución, por lo cual la infiltración y la distribución de raíces en el perfil son los mejores indicadores de la calidad estructural de un suelo (Cabeda, 1983). La presencia de superficies irregulares y de poros tubulares de varios tamaños indican una estructura favorable para la producción agrícola; éste tipo de estructura puede estimularse mediante prácticas de manejo sostenible como el uso de abonos verdes y la incorporación de residuos de cultivos al suelo (FAO, 2000).

Aunque los procesos de formación estructural en sí mismos son de gran importancia, desde el punto de manejo intensivo del suelo es aún más importante el conocimiento de la estabilidad estructural, ya que ésta propiedad caracteriza la resistencia del suelo al deterioro y la erosión causada por agentes perturbadores del medio como las gotas de lluvia, la mecanización, las condiciones inadecuadas de humedad, el déficit de coloides en el suelo, entre otros (Jaramillo, 2002).

Otro aspecto importante de esta propiedad es la génesis del suelo ya que la presencia y el desarrollo estructural evidencian la evolución del suelo (Jaramillo, 2002). En este sentido el suelo de la Zona de Reserva Campesina de Cabrera se clasifica taxonómicamente como Asociación Typic Hapludands Andic Dystrudepts, correspondiente a material parental proveniente del depósito de cenizas volcánicas sobre rocas clásticas limoarcillosas y caracterizado por un relieve de ligera a moderadamente quebrado, con pendientes de 7-12 y 12-28% (IGAC, 2000).

2.2.3 Densidad aparente, Densidad real y Porosidad

La densidad aparente se define como la relación entre la masa de una unidad de suelo seco y su volumen, este volumen incluye los sólidos y los poros, siendo así la densidad aparente un reflejo de la porosidad total de un suelo (FAO, 2009). Esta propiedad es usada como un indicador para la estimación de deterioro del suelo teniendo en cuenta que su valor aumenta o disminuye cuando la estructura del suelo sufre alguna degradación bien sea por compactación o por pérdida de materia orgánica (Jaramillo, 2002); (Amézquita & Hernández, 1999).

Los valores promedio de densidad aparente para cada textura de suelo han sido definidos por Ramirez (2009) en una variación general entre 1,3 y 1,8 g/cm³, mientras que autores como Archer y Smith (1972) y Brady (1974) citados por FAO (2000) especifican valores según texturas con valores entre 1,20 y 1,80 g/cm³ para suelos arenosos, 1,00 y 1,60 g/cm³ para suelos arcillosos, 1,50 g/cm³ en suelos franco arenosos, 1,40 g/cm³ para suelos franco limosos y 1,20 g/cm³ para franco arcillosos. Todos los autores consultados coinciden en que suelos derivados de cenizas volcánicas pueden llegar a valores de densidad aparente menores a 1 g/cm³.

Por otro lado, se define como densidad real a la medida volumétrica del peso seco de un suelo excluyendo el espacio poroso (Nuñez, 1981). El contenido de los elementos que constituyen el suelo es lo que determina las variaciones en la densidad real de acuerdo al peso específico de los mismos, por ejemplo menores a 2,5 g/cm³ (yeso y humus) de 2,5 a 3 g/cm³ (arcillas, cuarzo, feldspatos, calcitas y micas) de 3 a 4 g/cm³ (limonitas, piroxenos y olivinos) y valores más altos indican presencia de óxidos de hierro (Jaramillo, 2002); (Ramirez, 2009).; en este sentido la mayor parte de los componentes del suelo son aluminosilicatos y sílice cuyos valores oscilan entre 2,60 y 2,75 g/cm³ considerándose por lo tanto como valor promedio 2,65 g/cm³, que es el adoptado para análisis granulométricos un valor mayor indica presencia de óxidos de hierro y valores menores presencia de altos contenidos de materia orgánica (Heredia, Sf).

Adicionalmente estudios realizados en suelos forestales indicaron valores de densidad real entre 1,44 y 2,30 g/cm³ aumentando con la profundidad (Acevedo, Valera, & Prieto, 2010). De igual manera Rubio (2010) indica el valor de la densidad real de algunos materiales minerales y

horizontes edáficos, así por ejemplo los minerales de arcilla tienen una densidad real entre 2-2,60 g/cm³, los minerales con elementos metálicos entre 4,90- 5,30 g/cm³, para horizontes minerales entre 2,60-2,75 g/cm³, en horizontes orgánicos entre 1,10- 1,40 g/cm³ y en horizontes ricos en metales pesados 2,75 g/cm³

La porosidad total de un suelo se determina en laboratorio por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total del suelo, expresado en porcentaje (Rosa, 2008); teóricamente se considera como valor óptimo un 50% (Jaramillo, 2002). Los espacios que se forman entre las partículas y agregados, las grietas, los espacios por el crecimiento de raíces y el movimiento de macro y micro fauna se incluyen dentro del grupo de poros del suelo.

La porosidad total es una propiedad dinámica que sufre cambios con la labranza y depende de la compactación, la forma de las partículas, la textura y la estructura del suelo; cualquier práctica que altere la estructura del suelo afecta también su porcentaje de porosidad (FAO, 2000).

2.2.4 Compactación

Cuando un suelo tiene baja cantidad de macro poros reduce la conductividad del aire y del agua dentro del mismo dificultando la penetración de las raíces, la infiltración y el drenaje natural del agua dentro del suelo; este fenómeno se denomina compactación (Jaramillo, 2002). Factores como la presión por sobrecarga en un suelo especialmente por ganadería, la labranza intensiva y la realización de labores en condiciones inadecuadas de humedad provocan compactación (González, Iglesias, & Herrera, 2009).

En suelos con poca cobertura vegetal se disminuye la formación de agregados a partir del aporte de materia orgánica (García, 2005) lo cual sumado a la compactación favorece la escorrentía y la erosión además de otras problemáticas indirectas como la baja productividad, ya que al existir dicha compactación la infiltración y retención de agua en el suelo disminuye dificultando el crecimiento radicular y por tanto el desarrollo óptimo de las plantas (Claro, Monedero, Hernández, Somoza, & Sánchez, 2000); (Amézquita & Hernández, 1999).

2.3 Erosión

Desde que la tierra se cultivó por primera vez, la erosión del suelo por el agua y el viento han sido un problema constante, las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar donde se produce como fuera de él (Morgan, 1997).

El término “erosión” proviene del verbo latino *erodere* que significa roer. Una de las primeras definiciones de erosión de los suelos fue hecha por Ellison (1947), afirmando que es un proceso de separación y transporte de materiales del suelo por agentes erosivos. Según Ramirez, F (2006), la erosión se define como el desprendimiento, transporte y depósito de materiales del suelo por agentes erosivos. De acuerdo con Vega & Febles (2005), la erosión es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua.

El término erosión abarca también la erosión geológica que se produce en condiciones naturales, fuera de toda intervención humana y que actúa casi en todos los medios en forma paulatina; por lo tanto, la erosión es inevitable y cualquier perturbación del suelo puede causar erosión a una tasa mayor que las tasas naturales de renovación del suelo. Aunque existen casos de erosión natural, en los que el suelo se pierde tan lentamente que puede ser repuesto por los procesos naturales de descomposición y regeneración (Ramirez F. , 2006).

2.3.1 Erosión hídrica

La erosión hídrica es la pérdida de componentes del suelo, debido al arrastre de sus agregados por el agua hasta lugares más bajos (Kelley, 1983); (Hellin, 2004); (Meyer & Harmon, 1984). Teniendo en cuenta que gran parte de los nutrientes se concentra en las capas superficiales del suelo la erosión afecta la fertilidad del mismo y a su vez contribuye a la pérdida del recurso hídrico, pues al no haber nutrientes no hay plantas y la capacidad de retención de agua del suelo disminuye (Salas, 2011) ; (Ramirez, Hincapie, & Sadeghian, 2009).

De acuerdo con FAO (2003) y Meyer & Harmon (1984) el proceso de erosión consta de tres fases, la primera es el desprendimiento, la segunda el transporte y la tercera la sedimentación. En primer lugar, el impacto de las gotas de lluvia en el suelo con su impacto disgrega y salpica

partículas de suelo, su efecto depende de la velocidad y el tamaño de las mismas y es la fase más importante del proceso erosivo. La siguiente fase corresponde al escurrimiento que se da cuando la precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo y el agua se va por la superficies transportando a su paso las partículas de suelo sueltas, esto se ve influenciado a su vez por factores como la pendiente y la textura del suelo; y es así como se llega a la sedimentación donde por efectos de gravedad las partículas disueltas en el agua escurrida se hunden (Taypanta, 1993); (Hudson, 2006).

2.3.2 Factores asociados a la Erosión Hídrica

Existen factores que determinan la cantidad de erosión hídrica, entre ellos están: la precipitación, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el manejo de los suelos, entre otros (Salas, 2011); (Almorox, López, & Rafaelli, 2010); (Nuñez, 2001); (Quiroz & Hincapie, 2007) .

La erosión hídrica se presenta mayoritariamente en regiones tropicales ya que en éstas las lluvias son de mayor intensidad que en los climas templados (Pérez, Valdés, Hernández, & Ordaz, 2005); (Nuñez, 2001). Por lo tanto, es importante caracterizar las precipitaciones de gran intensidad y analizarlas exhaustivamente para poder evaluar el verdadero riesgo de erosión hídrica de un suelo (Almorox, López, & Rafaelli, 2010); (Nuñez, 2001).

La inclinación y el largo de la pendiente define la distancia que recorrerán las partículas de suelo desprendidas pues de acuerdo a estos factores el flujo de la escorrentía adquiere mayor o menor velocidad (UNESCO, 2010); (Nuñez, 2001). La inclinación o ángulo de la pendiente y la cantidad de suelo que se transporta hacia abajo de la ladera son directamente proporcionales, es decir que a mayor ángulo mayor cantidad de suelo transportado; es por esto que en zonas llanas la erosión hídrica es muy reducida o nula (Almorox, López, & Rafaelli, 2010); (Taypanta, 1993).

La cobertura vegetal también es un factor determinante en el riesgo de erosión de un suelo, como cita la UNESCO (2010) la cobertura vegetal y la erosión tienen una relación inversamente proporcional, es decir a mayor cobertura menor erosión y viceversa. La ausencia de cobertura vegetal favorece los procesos erosivos por salpique puesto que el impacto de las gotas de lluvia en el suelo es directo, por el contrario si el suelo está cubierto obtiene más materia orgánica y

rugosidad superficial, aumentando su capacidad de infiltración y evitando así los efectos de la escorrentía (Almorox , López , Rafaelli, & Silvia, 2010) ; (UNESCO, 2010) ; (Moreno, y otros, 2011); (Nuñez, 2001).

Suárez (2001), afirma que en las praderas la vegetación actúa como un filtro de agua que disminuye la velocidad del agua y captura los sedimentos que puedan transportarse en ella, proceso que se da eficientemente en corrientes de agua pequeñas. Adicionalmente hace referencia a las praderas de pasto kikuyo, como una especie que por excelencia disminuye la erosión inclusive hasta niveles nulos, debido a que sus raíces profundas y densas forman una membrana protectora semejante a un colchón que puede alcanzar los 50cm de profundidad y la fuerte estructura de los estolones refuerza las masas de suelo superficiales limitando la erosión.

En los sistemas que incorporan pasturas como barrera y abonos verdes, las tasas de erosión se reducen aproximadamente entre un 30 y 60 % (Hill, Clérici, Mancassola, & Sanchez, 2015). El efecto de pastos como barrera viva reduciendo pérdidas por erosión se ha confirmado en varias investigaciones. Según estudios realizados en la estación experimental de Fedepapa ubicada en la capital del departamento de Nariño donde se evaluó la erosión hídrica en 7 sistemas productivos de papa en pendientes entre 31 y 42% el tratamiento de papa con labranza convencional y fertilización química con barreras de pasto *Brachiaria decumbens* presentó menores pérdidas respecto a otros tratamientos como papa con barreras de mora, puesto que permite un mejor amarre en el suelo que evita la erosión y retiene el suelo que ya se ha transportado por escorrentía (Alvarado, López, & Castillo, 2011).

En adición, Castillo & Amézquita (2003) en estudios realizados en la zona Norte del Cauca determinaron que las pérdidas de suelo están en función de las propiedades físicas del suelo, la cobertura vegetal y el manejo del suelo. En suelos desnudos obtuvieron pérdidas de 198,8 ton/ha/año en una pendiente con un grado de inclinación del 15% y se evidenció que estas pérdidas son drásticamente reducidas cuando se aplican medidas de protección del suelo que mitigan la cinética de las gotas de lluvia y la escorrentía; en sistemas rotacionales con pastos de corte como barrera viva se obtuvieron pérdidas de 0,1 a 0,5 ton/ha/año lo que implica una reducción en más del 99%.

En investigaciones realizadas en la Reserva Natural El Ciprés en el Valle del Cauca, se evaluaron las pérdidas por erosión hídrica en siete tipos de cobertura: guadua, bosque, pradera, café, bancos de proteína, caña forrajera y cultivo asociado de yuca, maíz y arracacha. Las pérdidas más altas se registraron en el cultivo asociado con 2,61 ton/ha y las más bajas en guadua con 0,08 ton/ha y en pradera y bosque 0,09 ton/ha (Rodríguez, Sepulveda, Camargo, & Galvis, 2009).

La altura, la continuidad de la copa de árboles y la densidad de la cobertura superficial como las plantas arvenses, son factores que definen el impacto positivo o negativo que tenga la cobertura vegetal en la reducción de la erosión. La combinación de raíces superficiales y profundas dan una estructura cohesionada en donde se mantienen ancladas las partículas del suelo; sin embargo, los árboles de copa muy alta pueden generar mayor erosión que un suelo descubierto ya que no disminuyen la energía cinética de las gotas de lluvia y en algunos casos por la forma de las hojas el agua se acumula generando un mayor impacto al caer, mientras que especies frondosas de copas más bajas son consideradas las mejores para disminuir los efectos de la erosión (UNESCO, 2010); (Taypanta, 1993); (Flores, 1993).

Por otra parte, las prácticas de manejo del suelo como el excesivo laboreo o la preparación y surcado del terreno con maquinarias y a favor de la pendiente, la quema posterior al ciclo de un cultivo, entre otras favorecen la escorrentía y el proceso erosivo al modificar y deteriorar las propiedades físicas del suelo (Taypanta, 1993).

Los efectos de la labranza en la erosión han sido evaluados durante años. Según McGregor, Greer, & Gurley (1975) citado por Cadena, Egas, Ruiz, Mosquera, & Benavides (2012) en los suelos de Misisipi se encontró que la labranza mínima puede reducir la erosión de 17,5 ton/año a 1,8 ton/año lo que significa una reducción de casi el 90%. En un estudio realizado por los mismos autores en el departamento de Nariño, Colombia se evaluó el efecto de cinco tipos de labranza en la erosión de un suelo de baja densidad aparente, con contenidos de materia orgánica del 5% y cultivado con papa; encontrando mayor desplazamiento de suelo en los sistemas bajo labranza convencional con diferencias significativas frente a las pérdidas en labranza con bueyes.

Sin embargo no quiere decir que la labranza mínima no genere ningún tipo de pérdida por erosión, ya que según registros de CENICAFE (1982) el uso de azadón puede llegar a provocar pérdidas de suelo hasta de 39 ton/ha/año.

Finalmente, la textura también influye en el riesgo de erosión. Los suelos que tienen mayor cantidad de partículas finas o medianas son más susceptibles a sufrir erosión hídrica, al igual que los suelos con poca estructura o compactos (Nuñez, 2001). El porcentaje de limo es decisivo en la relación erosión-textura ya que es quien proporciona la cohesión entre las arcillas y las arenas (UNESCO, 2010).

2.3.3 Tipos de erosión hídrica

2.3.3.1 Erosión laminar

El movimiento uniforme y difuso de una capa delgada de suelo sobre las laderas por efectos de escorrentía es considerado erosión laminar. Este tipo de erosión remueve las partículas de suelo más finas disminuyendo la fertilidad natural del suelo y provocando que gran cantidad de sedimentos resulten en fuentes de agua, afectando gravemente el recurso hídrico (Mintegui & López, 1990).

2.3.3.2 Erosión por surcos

Este tipo de erosión se da cuando el terreno presenta irregularidad o variabilidad y el flujo de la escorrentía se centra en estos puntos o sitios acumulándose, de esta forma adquiere más volumen y más velocidad haciendo cortes en el suelo y formando canalículos que se pueden observar en la superficie (Suarez & Rodriguez, 1962).

2.3.3.3 Erosión en cárcavas

Es la erosión que se presenta cuando el flujo de agua amplifica y profundiza los surcos, o la escorrentía de varios surcos se acumula en uno solo aumentando su tamaño con el tiempo por socavamiento y por aceleración del proceso a favor de la pendiente. La erosión en cárcavas se caracteriza por formar profundas incisiones en el terreno (Honorato, 2000).

2.3.4 Modelos de evaluación de erosión hídrica

Para la estimación o medición del grado de erosión existente en el suelo se han desarrollado distintos métodos, los cuales se han diferenciado en dos tipos; los modelos cualitativos y los modelos cuantitativos. En los modelos cualitativos destaca la cartografía de unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo (erosividad de la lluvia, suelo, vegetación, topografía), con otros atributos de ajustes más subjetivos (Honorato, 2000).

Por otra parte, los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y se diferencian en modelos de evaluación directa y en modelos de evaluación indirecta. Según López (2004), se ha intentado salvar el vacío existente entre los modelos de evaluación indirecta y los procesos físicos, pero se reconoce que falta mucho por hacer, tanto en la teoría del transporte de sedimentos en el flujo superficial, como en el trabajo experimental.

Los modelos directos o de evaluación directa, se desarrollan en terreno a través de modelos experimentales, por la medición en parcelas de erosión o por la medición de variables, tales como sedimentos en el agua y en algunos casos con la ayuda de los simuladores de lluvia, donde los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a zonas homogéneas (Honorato, 2000). En general, los modelos más conocidos son las parcelas de escurrimiento y las parcelas con clavos de erosión.

Las parcelas de escurrimiento involucran la captación del caudal líquido y sólido, pero son difíciles de implementar por costos. Según Peralta (1976), este es el único sistema que permite medir los kilos o toneladas de tierra que se pierden en un terreno bajo una pendiente, rotación y cobertura dada. Además, se debe enfatizar en que éste es un método inobjetable en su exactitud de resultados.

Las parcelas con clavos de erosión poseen una metodología experimental sencilla, directa y de gran precisión, en la cual la estimación de pérdida de suelo se realiza sobre superficies variables. Es un método adecuado para cuantificar la erosión hídrica producida en un sector determinado, ya que no sólo cuantifica la erosión hídrica, sino que también cuantifica la sedimentación producida en el mismo lugar (Pizarro & Cuitiño, 1999).

Peralta (1976), señala que este método corresponde a una medición cualicuantitativa y que para efectuar este tipo de mediciones se debe partir de la base que es posible evaluar la erosión conociendo previamente los suelos y su morfología.

2.4 Factores asociados a parámetros hídricos

2.4.1 Precipitación

La precipitación se constituye como uno de los factores climáticos más importantes que influyen sobre la erosión puesto que la velocidad y el volumen de la escorrentía se relacionan en gran medida con la intensidad, la duración y la frecuencia del evento de lluvia. Para su medición diaria se utiliza el pluviómetro, que es un instrumento sencillo concebido para medir la cantidad de agua precipitada en milímetros, en donde un mm de lluvia leído significa que cayó un litro de agua en un metro cuadrado de terreno (IDEAM, 2001).

Durante una tormenta fuerte, el golpe de las gotas al caer desprende partículas de suelo y si no cuenta con cobertura vegetal se crean las condiciones ideales para que la escorrentía superficial transporte toneladas de suelo por hectárea, por lo cual la intensidad de la lluvia es el factor climático más importante asociado a la erosión. En cuanto a la frecuencia cuando la lluvia cae en intervalos cortos la cantidad de escorrentía se relaciona con la humedad del suelo, en un suelo húmedo la escorrentía será alta sin importar la intensidad del evento mientras que en un suelo muy seco el agua será capturada y la escorrentía dependerá de la cobertura que tenga el suelo (FAO, 2000).

2.4.2 Infiltración

Luego de un fenómeno de precipitación el agua superficial penetra en el suelo por efecto de la gravedad, acumulándose en el espacio poroso cumpliendo funciones como alimentación de fuentes subterráneas, reducción de inundaciones y de erosión hídrica y provee el líquido a las plantas para su desarrollo (Rascon, 2005).

El movimiento de las aguas infiltradas depende de otras propiedades físicas del suelo como la textura, estructura, materia orgánica entre otras relacionadas (Valverde, 2007). Según

Gol,(2009) citado por Sanchez, Pinilla, & Mancera,(2015) a mayor contenido de materia orgánica mayor es la tasa de infiltración independientemente de la textura del suelo siempre y cuando los contenidos de materia orgánica sean mayores al 5%.

Conocer la infiltración en un suelo permite evaluar la lluvia efectiva infiltrada y el escurrimiento causado por la misma, además determinar los tiempos de infiltración ayuda en el diseño de sistemas de riego calculando los tiempos y caudales necesarios dentro de una parcela; este tiempo se define como infiltración instantánea y se expresa en milímetros por hora o centímetros por hora (Valverde, 2007); (Forsythe, 1985).

Sanclemente (2011), Universidad de Sevilla (2008), entre otros autores , coinciden en que suelos de texturas gruesas, es decir con mayores contenidos de arenas tienen por lo general tasas de infiltración más alta que suelos de texturas finas como arcillas debido a que la presencia de poros de mayor tamaño permite la entrada de caudales de agua mayores. En consecuencia, indican que el valor normal de infiltración para suelos francos es de 8 a 20 mm h⁻¹ para suelos franco arenosos de 13 a 25 mm h⁻¹, franco limosos de 4 a 10 mm h⁻¹ y finalmente los suelos franco arcillosos tienen una tasa de infiltración entre 2,5 y 15 mm h⁻¹.

Por otra parte, Suárez (2001) afirma que la vegetación en especial de praderas aumenta la retención de agua, además el sistema radicular que poseen estas especies y la actividad biológica ayudan en la creación de poros aumentando la conductividad y la infiltración constituyéndose como una efectiva forma de disminución de la escorrentía.

2.4.3 Escorrentía

La escorrentía es un componente del ciclo hidrológico que corresponde a la cantidad del agua de lluvia que excede la capacidad de infiltración del suelo, el exceso fluye hacia arroyos, quebradas, ríos, lagos y océanos. El proceso de escorrentia normalmente se considera asociado a una cuenca, denominada área de captación de la lluvia (Nuñez, 2001).

El volumen de agua que escurre por la precipitación hacia los ríos de manera horizontal se denomina escorrentía superficial y la alimentación de los mismos de manera constante se da por

escorrentía sub superficial; el agua que escurre de manera vertical a través de acuíferos y llega a los mares se conoce como escorrentía subterránea (López, Pulido, & Baquero, 2005).

El balance entre agua infiltrada y agua de escorrentía es un importante indicador del ciclo hidrológico ya que esta relación determina la cantidad de agua de lluvia que se transporta a las aguas superficiales, recarga las freáticas y regresa a la atmósfera en el proceso de evapotranspiración (Molano & Forero, 1896). La elevación de la tasa de evapotranspiración y el cambio en las precipitaciones, modifica el flujo de agua que llega a los lagos y embalses, reduciendo la capacidad de auto purificación del agua y por tanto la dinámica de nutrientes en los ríos (Prat & Munne, 2011).

El agua lluvia que se pierde en la infiltración para su uso en la producción agrícola y el abastecimiento de aguas subterráneas por medio de la escorrentía, frecuentemente, causa erosión en el suelo y desciende rápidamente a los ríos y embalses depositando los sólidos arrastrados en el fondo de los mismos (FAO, Sf). Cuando no se toman medidas para el manejo de la escorrentía en cuencas hidrográficas, la erosión hídrica destruye los suelos favoreciendo inundaciones en las épocas de lluvia mientras que en los períodos de sequía los caudales se reducen drásticamente generando un impacto ambiental y social por su escasa disponibilidad (FAO, 2013).

Las prácticas de uso de suelo, la deforestación y la agricultura son consideradas causales importantes en la contaminación de fuentes hídricas. La agricultura se considera una fuente indirecta de contaminación por la carga de insumos, residuos y uso de aguas servidas en riego que se descargan en sedimentos por medio de la escorrentía en las aguas superficiales y subterráneas. Cuando la carga de nutrientes arrastrados y los sedimentos por erosión exceden la capacidad de carga de los ecosistemas constituyen un problema ambiental (Escobar, 2002).

La deforestación disminuye el rendimiento hídrico de una cuenca al disturbar las condiciones de cobertura, infiltración, capacidad de retención de humedad y cantidad de materia orgánica en el suelo, facilitando la escorrentía y los procesos erosivos (Oyarzún, Nahuelhual, & Nuñez, 2004); (García, 2005).

Como se ha dicho anteriormente, el tipo de cobertura vegetal influye en gran medida en la escorrentía y en consecuencia en la erosión hídrica. Los sistemas de amplia cobertura como los bosques contribuyen a proteger el suelo de la erosión y aumenta la capacidad de infiltración por las condiciones físicas del suelo lo que limita la escorrentía; sin embargo, estudios realizados por Wei, y otros (2007) citado por Sanchez, Pinilla, & Mancera (2015) y FAO (1987) indican que las plantaciones de pinos y eucaliptos generan niveles de escorrentía mayores a una pradera sin ninguna cobertura arborea. A pesar de ello una alta escorrentía en un sistema de cobertura boscosa no necesariamente representa pérdidas por erosión altas.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de investigación

La investigación se enmarcó dentro del tipo experimental cuantitativo. Teniendo en cuenta que la investigación cuantitativa se define como el método de medición y cuantificación de datos de manera matemática recurriendo al uso de métodos estadísticos (Barragan, y otros, 2001).

Por otra parte, la investigación experimental se caracteriza principalmente en el estudio de variables (causas) y el análisis de resultados (efectos) (Gomez, 2006). Para el caso, las variables dependientes a investigar son escorrentía y erosión en cuanto a la precipitación y las propiedades físicas de dichos suelos (variables independientes) a través de la toma de datos y análisis matemático con el fin de formular recomendaciones.

3.2 Hipótesis

Los suelos de área arborizada tendrán menor erosión y escorrentía debido a que sus propiedades físicas se encontrarán en un mejor estado de acuerdo a la cobertura presente y a una menor intervención antropogénica; en los sistemas de pradera se encontrará una mayor compactación por ende mayor escorrentía y en los cultivos un mayor impacto por erosión hídrica y un mayor deterioro en todas las propiedades evaluadas respecto a los otros sistemas.

3.3 Descripción del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo entre el primer y segundo período del año 2016 en la Vereda Santa Marta, en la Zona de Reserva Campesina de Cabrera ubicada en la Provincia del Sumapaz, Cundinamarca, Colombia a 144km de distancia de la ciudad de Bogotá D.C. Cabrera limita al norte con los municipios de Venecia y San Bernardo, al sur con los departamentos de Huila y Tolima, por el oriente con la ciudad de Bogotá D.C y por el occidente con el departamento del Tolima (Ver figura 3) (Alcaldía Municipal de Cabrera Cundinamarca ,2012).

El municipio cuenta con una altura de 2.560msnm, una temperatura promedio de 14°C, una precipitación promedio anual de 964,6mm(Ver anexo 1) y una extensión total de 449 km². Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge la zona pertenece a bosque seco montano bajo.

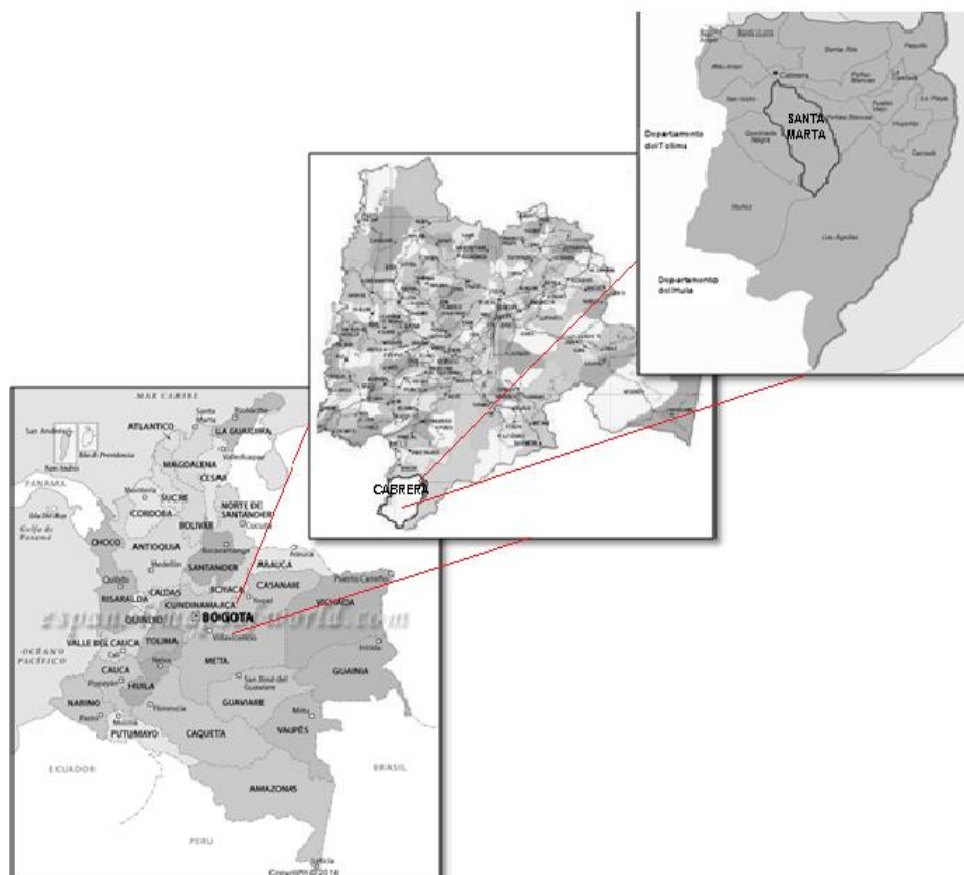


Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Tomado de: Alcaldía Municipal de Cabrera Cundinamarca, (2012)y modificado por los Autores (2016).

3.4 Diseño experimental

El diseño experimental se asemeja a un diseño en bloques completamente aleatorizados, siendo los bloques las tres fincas objeto de estudio, los tratamientos el tipo de cobertura (pradera, área arborizada y cultivo) y las repeticiones el número de parcelas por tratamiento.

3.5 Fases, métodos y herramientas de investigación

El proceso de investigación llevado a cabo constó de las fases y métodos resumidos en la figura 4.

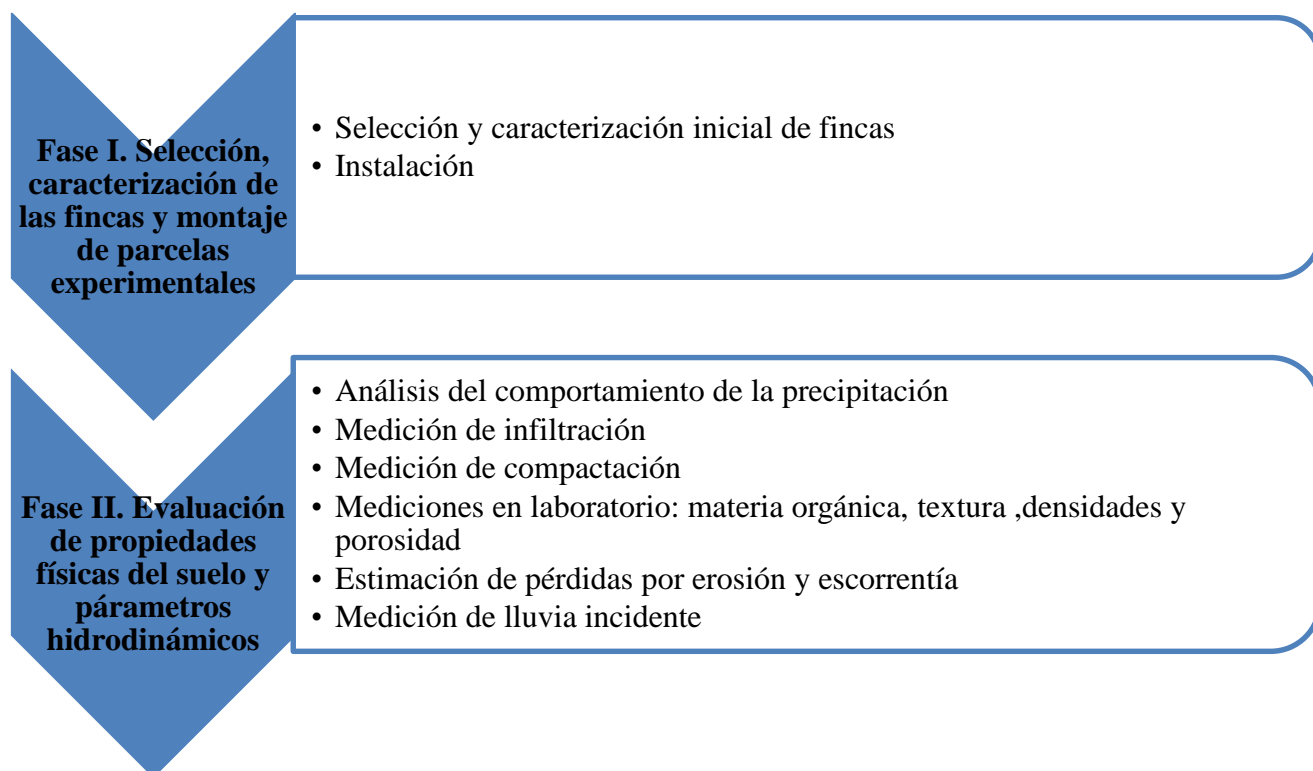


Figura 4. Proceso metodológico de investigación. Fuente Autores (2016)

3.6 Descripción del procedimiento

3.6.1 Fase 1: Selección, caracterización de área de muestreo y montaje de parcelas experimentales

3.6.1.1 Selección y caracterización inicial de área de muestreo

Se seleccionaron tres sistemas: pradera, área arborizada y cultivo; el sistema de área arborizada se limitó a la caracterización dada en el estudio previo *Caracterización multidimensional de la Agricultura familiar en la Zona de Reserva Campesina de Cabrera-*

Cundinamarca como aporte a la construcción de políticas públicas para la agricultura familiar en Colombia, entendiéndose como una zona de reserva que no cumple ninguna función comercial y que se encuentra establecida en la finca hace más de 30 años. Cada sistema contó con tres repeticiones. Las fincas fueron seleccionadas teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Integración de los sistemas: Cada finca dentro del área total de su predio tenía los tres sistemas a evaluar (área arborizada, pradera y cultivos). Se determinaron las áreas totales dentro de la finca dedicados a cada sistema productivo, posteriormente se determinó el sitio de ubicación de las repeticiones de acuerdo a la pendiente y el porcentaje de cobertura.
- Pendiente: el intervalo de pendientes manejado fue entre 24% y 28% con el objeto de homogenizar las unidades experimentales y no hacer de la pendiente una variable adicional, teniendo en cuenta también la topografía general de la vereda. Éste criterio fue evaluado por dos métodos: inclinómetro y un agro nivel tipo A.
- El porcentaje de cobertura vegetal tanto en pradera como en cultivos se seleccionó con un 100% de cobertura; las especies arbóreas dentro del área de la parcela en los sistemas de área arborizada se seleccionó homogéneamente para las tres repeticiones.

Para una caracterización más completa de los sistemas se tuvo en cuenta el historial de uso del suelo y prácticas de manejo como: mecanización y fertilización. Para la recolección de la información anterior, se utilizaron los resultados hallados para cada finca seleccionada en el marco del proyecto *Caracterización multidimensional de la Agricultura familiar en la Zona de Reserva Campesina de Cabrera- Cundinamarca como aporte a la construcción de políticas públicas para la agricultura familiar en Colombia* realizado durante el año 2015 mediante la herramienta de diagnóstico predial específicamente del formato 7 correspondiente al uso del suelo (Ver Anexo 2,3 y 4). Como complemento se realizaron entrevistas semiestructuradas (Ver anexo 5) con los participantes durante el mes de octubre de 2016.

3.6.1.2 Instalación

Las estructuras de las parcelas de escorrentía fueron instaladas en mayo de 2016 y tuvieron un período de acoplamiento de un mes. Se instalaron en total nueve parcelas lo que corresponde a tres por sistema: tres en sistema de área arborizada, tres en sistema de pradera y tres en cultivos.

Las parcelas de escorrentía (Figura 4) tenían un área de 24,5 m² (con dimensiones de 3,5x7 m). En todas las repeticiones las parcelas fueron ubicadas con el lado de mayor longitud (7 m), en el mismo sentido de la pendiente. Para su construcción se usaron láminas de super board de 4mm de grosor y 15 cm de alto (5 cm enterrados en el suelo) impermeabilizadas previamente con Sika.

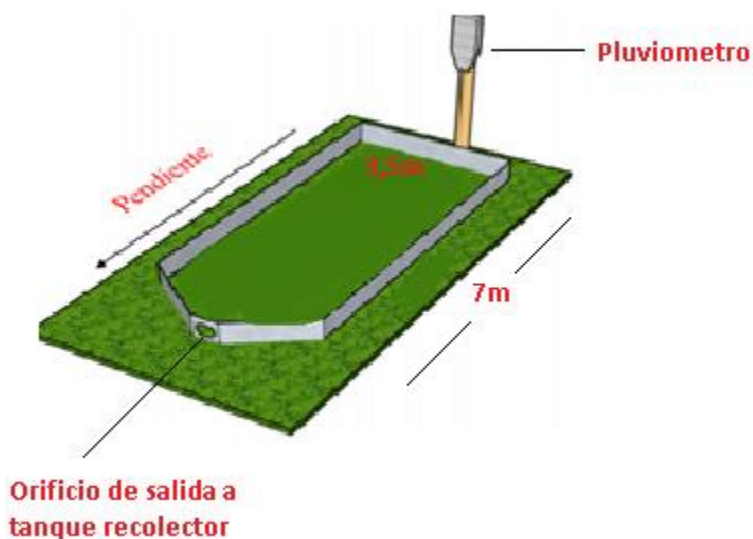


Figura 5. Modelo parcela de escorrentía Fuente: (Ríos, 2006)

Con el fin de recolectar el agua de escorrentía se conectó en el orificio de salida inferior de la parcela una manguera de diámetro de 5,08cm (2 pulgadas) con desembocadura en una caneca de capacidad volumétrica de 18,9 litros donde se recolectó el agua escurrida.

Durante la primera semana de julio se realizaron pruebas piloto con los agricultores para el registro en formatos de la cantidad de mm leídos en el pluviómetro y para verificar el óptimo funcionamiento de las parcelas.

3.6.2 Fase 2: Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos del suelo

3.6.2.1 Medición de infiltración

Las pruebas de infiltración se realizaron enterrando verticalmente los anillos de infiltración en el suelo, llenándolos con agua y midiendo la tasa de descenso de la misma (Molano, 1896). La infiltración se midió con una batería de tres infiltrómetros de anillos concéntricos Turf- Tec referencia ASTM 3385 con un diámetro para el anillo interior de 6,03cm y para el anillo exterior de 10,79 cm, fabricados en zinc y con una escala de medición del nivel de agua en milímetros. En los formatos de recolección de información en campo se registró:

- Hora de lectura
- Tiempo (minutos)
- Altura del agua (mm)
- Lectura actual – anterior (mm)
- Infiltración acumulada: Lecturas acumuladas (mm)
- Tiempo actual – anterior (minutos)

Posteriormente con los datos obtenidos se calculó la velocidad de infiltración a partir de la ecuación (1)

$$VI = \frac{(\Delta \text{ de lectura} \times 600)}{\Delta \text{ de tiempo}} \quad (1)$$

Dónde

- VI = Velocidad de infiltración ($\text{mm}^{-1} \text{ h}$).
- Δ de lectura = Diferencial de lectura (cm)
- Δ de tiempo = Diferencial de tiempo (minutos)
- 600 = Factor de conversión para convertir $\text{cm}^{-1} \text{ h}$ a mm^{-1}

Las pruebas se realizaron en el mes de junio de 2016, con lecturas de 1, 2, 4, 8, 16, 30, 60 y 120 minutos, los infiltrómetros fueron instalados triangularmente alrededor de cada parcela de escorrentía en los tres sistemas (Ver anexo 6), en total se realizaron 27 pruebas.

3.6.2.2 Medición de compactación

Se utilizó un penetrómetro Lang Penetrometer Inc. diseñado con un código de color y escala calibrada en donde el azul es demasiado húmedo o demasiado suave, el amarillo es marginal o normal, verde es aceptablemente duro, y el rojo es duro o seco. La escala lee del uno al veinte y se traduce en libras fuerza (Ver tabla 1).

Tabla 1. Referencia de escala de lectura para penetrómetro

ESCALA	LIBRAS FUERZA (lbf)	CATEGORIA
1	3,57	
2	4,64	
3	5,72	Muy suave o húmedo
4	6,79	
5	7,86	
6	8,94	
7	10,01	
8	11,09	Marginal o normal
9	12,16	
10	13,24	
11	14,31	
12	15,39	
13	16,46	Aceptablemente duro
14	17,54	
15	18,61	
16	19,68	
17	20,76	
18	21,83	Duro o seco
19	22,91	
20	23,98	

Fuente: Lang Penetrometer Inc (Sf)

3.6.2.3 Determinación de textura y contenido de materia orgánica

Se tomó una muestra por repetición de 1kg compuesta por 10 submuestras representativas de suelo a una profundidad entre 5 y 20cm en zigzag. Las muestras fueron llevadas a los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia donde se determinó el contenido de materia orgánica por el método de análisis elemental, los porcentajes de limos, arenas y arcillas por el método de bouyoucos y así se definió la clase textural a partir del triángulo de clasificación USDA.

3.6.2.4 Cálculo de densidad aparente y real

La densidad real se calculó mediante el método de picnómetros (Ver anexo 7), donde en primer lugar se pesó cada picnómetro vacío, luego se agregaron aproximadamente 5gr de muestra de suelo seco con agua destilada hasta llenar el picnómetro y se registró su peso, finalmente se registró el peso del picnómetro con agua destilada únicamente y se calculó la densidad aplicando la ecuación (2) (Jaramillo, 2002).

En cuanto al cálculo de la densidad aparente se aplicó el método de cilindro biselado. Limpiando la superficie del suelo se introdujeron tres cilindros de cobre de 7cm de altura y 2,6cm de radio aproximadamente, luego con ayuda de una espátula se limpió el suelo excedente de los bordes. El suelo de cada muestra se secó a 100°C por 24h hasta obtener peso constante y finalmente se calculó la densidad aparente aplicando la ecuación (3) (Jaramillo, 2002).

$$\rho_r = \frac{P_s}{P_s + P_w - (P_{pws})} \quad (2)$$

Donde:

- ρ_r = Densidad real
- P_s = Peso del suelo
- P_w = Peso del agua
- P_{pws} = Peso del picnómetro con agua y suelo

$$\rho_a = \frac{P_s}{V} \quad (3)$$

Donde:

- ρ_a = Densidad aparente
- P_s = Peso del suelo seco
- V = Volumen del cilindro

3.6.2.5 Determinación del Índice de estabilidad estructural

El Índice de estabilidad estructural (Si) según Pieri (1995) citado por Acevedo (2015), determina el nivel de deterioro ocasionado en un suelo por compactación, encostramiento de la capa superficial y erosión hídrica. Éste índice da como resultado un valor adimensional que discrimina suelos degradados ($Si < 5$), suelos con alto riesgo de deterioro ($Si 5-7$), suelos con riesgo de deterioro moderado ($Si 7-9$) y suelos con estructura estable ($Si > 9$); para calcularlo se utilizó la ecuación (4).

$$Si = \frac{\%MO}{(\%arcilla + \%limo)} * 100 \quad (4)$$

3.6.2.6 Estimación de suelo perdido por erosión hídrica y escorrentía mediante parcelas de escorrentía

Las mediciones en las parcelas de escorrentía se registraron cada ocho días en horas de la mañana durante 20 semanas correspondientes al período entre las semanas calendario 29 y 48 del año 2016 entre los meses de julio a noviembre. Para la estimación de escorrentía se utilizó un recipiente aforado en unidades volumétricas de 0,1 a 3,5 litros para medir el volumen de agua depositado en el recipiente colector final, correspondiente al período de ocho días.

El cálculo del porcentaje de escorrentía se llevó a cabo aplicando la ecuación (5).

$$\%AE = \frac{AE}{ACP} * 100 \quad (5)$$

Donde:

- %AE= Porcentaje de agua escurrida o de escorrentía
- ACP = Agua caída en la parcela (lts)
- AE= Escorrentía en la parcela (lts)

De este volumen total de escorrentía se tomó una alícuota de 200ml en caso de superarlos, o del volumen total en caso de ser menor a 200ml y se descartó el agua restante dejando vacío el colector.

Las muestras obtenidas semanalmente fueron llevadas a laboratorio entre los 2 y 3 días siguientes al muestreo, donde se llevó a cabo la estimación de sólidos disueltos totales y así la cantidad de suelo perdido. Para ello se disponía el total de la alícuota en un crisol previamente pesado, posteriormente se procedía a secar en horno mufla a 400°C por una hora; se dejaba enfriar por 40 minutos y se pesaba el crisol con el suelo. La diferencia entre los pesos registrados correspondía a la cantidad de suelo perdido.

Finalmente se extrapolaron las pérdidas encontradas en gramos en la alícuota al valor del volumen de agua escurrido total y se realizaron los cálculos pertinentes para expresar las pérdidas en términos de kg/ha.

Los análisis estadísticos se efectuaron con el programa PSSP; se aplicó una prueba de análisis de varianza en una vía (ANOVA) con el fin de definir la relación entre precipitación-erosión y precipitación-escorrentía en cada sistema.

3.6.2.7 Medición de lluvia incidente o agua caída en parcelas de escorrentía

Con el fin de caracterizar el historial de precipitaciones de la zona se solicitó ante el IDEAM el historial de precipitación de los últimos 49 años en la Estación pluviométrica Cabrera identificada con el código 21190090 y con ubicación geográfica Latitud 3.0° 59.0 N, Longitud 74.0° 29.0' W. A partir de dicha información se realizó un análisis de probabilidades de las precipitaciones máximas en 24h y se verificó el comportamiento de las precipitaciones en la época de estudios frente a dicho historial.

Cada precipitación se consideró un evento de análisis a ser registrado. Las mediciones de la precipitación se realizaron directamente del pluviómetro diariamente a las 5:00pm, para estimar la cantidad de agua caída en la parcela se tomó el área interna de la parcela en metros cuadrados y

se multiplicó por la lámina de precipitación registrada en el pluviómetro en milímetros para obtener el volumen en litros que se resume en la ecuación (6):

$$ACP = A \frac{P}{1000} (6)$$

- P: Precipitación (mm)
- A: Área en (m²)
- ACP: Agua caída en la parcela (m³)

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Fase 1: Selección, caracterización de área de muestreo y montaje de parcelas experimentales

Las tres fincas seleccionadas se encuentran ubicadas en la Vereda Santa Marta (Ver figura 6), en la tabla 2 se describen las principales características de las mismas que dieron lugar a su selección, teniendo en cuenta que para el criterio de cobertura todos los sistemas contaron con un 100% de cobertura superficial del suelo y en los sistemas de área arborizada las parcelas incluyeron en su área interna de 2 a 3 árboles.

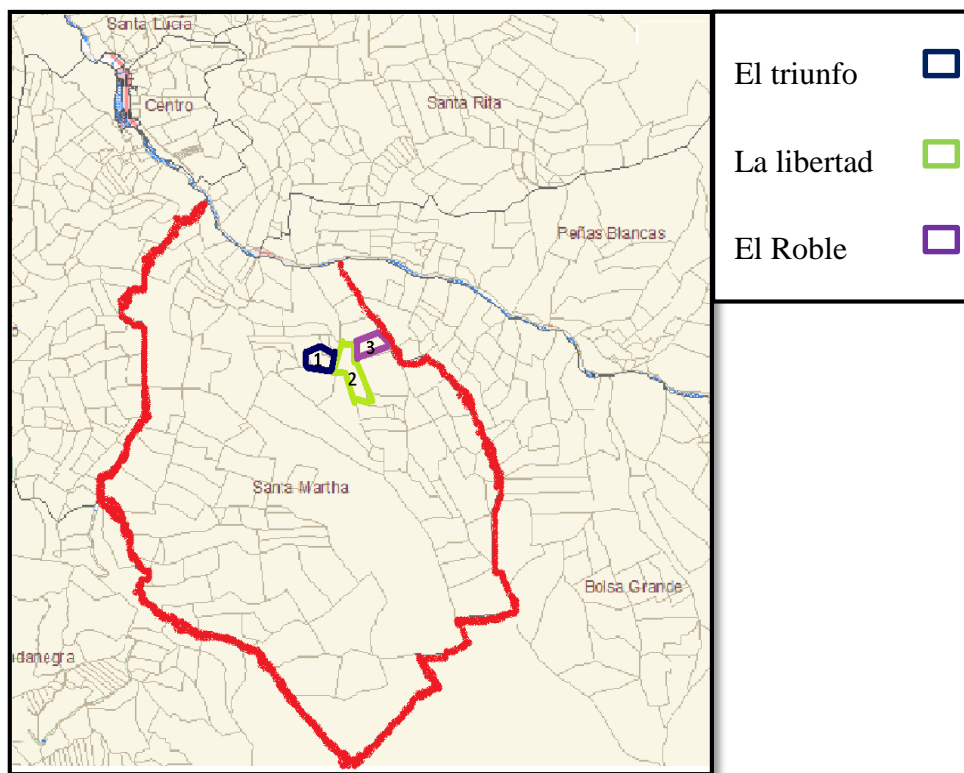


Figura 6. Localización de fincas objeto de estudio. Tomado de: IGAC (2000) y modificado por los Autores (2016)

Tabla 2. Caracterización de fincas según criterios de selección

INFORMACIÓN GENERAL				ÁREA ARBORIZADA			CULTIVO			PRADERA		
N°	NOMBRE DEL AGRICULTOR	NOMBRE DE LA FINCA	AREA TOTAL (ha)	ÁREA (ha)	ESPECIE PREDOMINANTE	%PENDIENTE	ÁREA (ha)	ESPECIE PREDOMINANTE	%PENDIENTE	ÁREA (ha)	ESPECIE PREDOMINANTE	%PENDIENTE
1	Carmen Prieto	El Triunfo	8	0,13	Eucalipto(<i>E.globulus</i>)	25-27	7,81	Fríjol (<i>P. vulgaris</i>)	26-28	4,8	Kikuyo	25-27
2	Nelson Sierra	La Libertad	8,9	1,047	Eucalipto (<i>E. globulus</i>)	26-28	7,85	Granadilla (<i>P. ligularis</i>)	24-26	4,79	Kikuyo	24-26
3	Milena Pineda	El Roble	21,5	3,25	Eucalipto(<i>E. globulus</i>)	25-27	18,24	Granadilla (<i>P. ligularis</i>)	25-27	14,74	Kikuyo	25-27

Fuente: Autores (2016)

Las prácticas de uso y manejo del suelo (ver tabla 3) evidencian que en general los sistemas de cultivo y pradera evaluados realizan una preparación de suelos con azadón, excepcionalmente en el sistema de cultivo de la finca El Triunfo se ha hecho uso de tractor lo cual explica la diferencia en las propiedades físicas del suelo de esta finca (especialmente en la compactación), como se analizara más adelante. El suelo de los sistemas de área arborizada, por su parte, no ha presentado intervención en las fincas El Roble y El Triunfo en los últimos 25 años; en el caso de la finca La Libertad se realizó intervención para la siembra de fríjol, sin embargo, no progresó debido a las condiciones de humedad presentes en el terreno; actualmente se utiliza para el pastoreo de ganado vacuno eventualmente al igual que en la finca El Roble.

Por otra parte, el historial de uso del suelo indica que los sistemas de cultivo se caracterizan por el manejo de cultivos transitorios y algunos frutales entre los que ha predominado los últimos años la granadilla; generalmente son sistemas convencionales de monocultivo cuya fertilización y control fitosanitario es químico y no presenta rotación entre los productos utilizados. Adicionalmente, los suelos de los lotes destinados a cultivo han sido explotados consecutivamente en el tiempo sin períodos de descanso.

Tabla 3. Descripción de prácticas de manejo y uso del suelo

NOMBRE DE LA FINCA	SISTEMA	CULTIVOS ANTERIORES	MECANIZACIÓN	FERTILIZACIÓN		INSUMOS ¹			PERÍODO DE DESCANSO	PODA	DESHIERVE	OBSERVACIONES
				ORGÁNICA	QUÍMICA	HER	FUN	INS				
La Libertad	Cultivo	Inicialmente pastoreo. Frijol, tomate, frijol, lulo, frijol, granadilla y actualmente maíz.	Bueyes y azadón.	Estiércol de ganado	Triple 15 y 10-20-20	Glifosol	Manzate	Furadan, Decis	20 años cultivando sin descanso.	Manual	Manual (con azadón y guadaña); química.	Durante la época de estudio se acabó el cultivo de granadilla y se sembró maíz.
	Área Arborizada	Se sembró frijol solo una vez.	Azadón	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno		Manual, con motosierra	Manual	El área arborizada es muy húmedo, por eso no se volvió a sembrar en esa zona. El ganado pastorea en esa zona.
	Pastos	Anteriormente frijol y arveja.	Azadón y herbicidas	Estiércol de ganado	Triple 15 y 10-20-20	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Sistema de rotación	Ninguna	Ninguno	Ninguna
El Roble	Cultivo	Anteriormente arveja, frijol. Actualmente granadilla.	Azadón	Gallinaza	Triple 15 y 10-20-20	Gramoxone, Glifosol	Ninguno	Titane	Ninguno	Manual	Química	Las gallinas pastorean y escarban el suelo
	Área arborizada	Sin intervención más de 45 años	Ninguna	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno		Manual, con motosierra	Ninguno	El ganado pastorea en esa zona
	Pastos	Anteriormente lulo y tomate de árbol	Azadón	Estiércol de ganado	Triple 15 y 10-20-20	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Sistema de rotación	Ninguno	Ninguno	Ninguna
El Triunfo	Cultivo	Frijol, tomate de árbol, lulo, curuba. El último año: frijol, tomate y lulo.	Se preparó el suelo con azadón y tractor	Gallinaza	Triple 15 y 10-20-20	Glifosol	Dithane, Manzate y Rodas.	Furadan, Decis, Tamaron	1 año.	Manual	Química y manual.	En el transcurso de la investigación se cambió el cultivo de frijol a tomate de árbol asociado con lulo.
	Área arborizada	Sin intervención más de 45 años	Ninguna	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno		Manual, con motosierra	Ninguno	Horizonte O de alta densidad.
	Pastos	Mora, papa, curuba, frijol, maíz, tomate de árbol y se sembró pasto de corte.	Azadón	Estiércol de ganado	Triple 15, total desarrollo, 10-20-20 y 10-30-10	Glifosol	Ninguno	Furadan	Sistema de rotación	Ninguno	Ninguno	Ninguna

Fuente: Autores (2016)

¹ HER: herbicida; FUN: fungicida; INS: insecticida

4.1.2 Fase 2: Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hídricos

Teniendo en cuenta que la precipitación se constituye como uno de los factores más importantes que influyen sobre la erosión, se caracterizó el historial de precipitaciones de la zona a partir de los registros solicitados al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM); encontrando que la distribución temporal de la precipitación en el municipio de Cabrera es de tipo bimodal (ver figura 7).

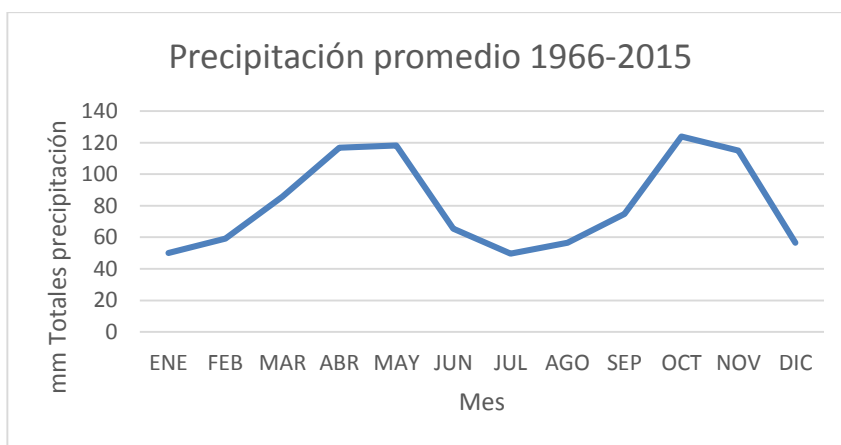


Figura 7. Precipitación total mensual histórica Fuente: Autores (2017) a partir de registros IDEAM

Con el fin de analizar la probabilidad de eventos de precipitación máxima que pudiesen presentarse se llevó a cabo un análisis de los registros históricos de máximas en 24 horas (ver Anexo 8). Como se refleja en la tabla 4, la probabilidad de que se presenten precipitaciones en 24 horas entre 22mm y 30mm es del 18%, lo cual coincide con los registros diarios durante toda la época de estudios pues el 16% de las precipitaciones se registraron en este rango; la precipitación máxima en 24 horas registrada fue de 60mm y el 82% de las precipitaciones fue menor a 22mm.

Tabla 4. Análisis de probabilidad de recurrencia precipitación máxima en 24h

PRECIPITACIÓN MÁX 24 h (mm)	PROBABILIDAD (%)
22-30	18
30-38	28
38-46	18
46-54	16
54-62	2
62-70	8
70-78	0
78-86	0
86-94	6
94-102	0
102-110	2

Fuente: Autores (2017) a partir de registros IDEAM

Adicionalmente se verificó el comportamiento de las precipitaciones en la época de estudios frente al historial, encontrando que las precipitaciones registradas fueron mayores que el promedio, pero dentro de los máximos y mínimos históricos (ver figura 8) coincidiendo con los picos más altos durante los meses de Septiembre a Noviembre.

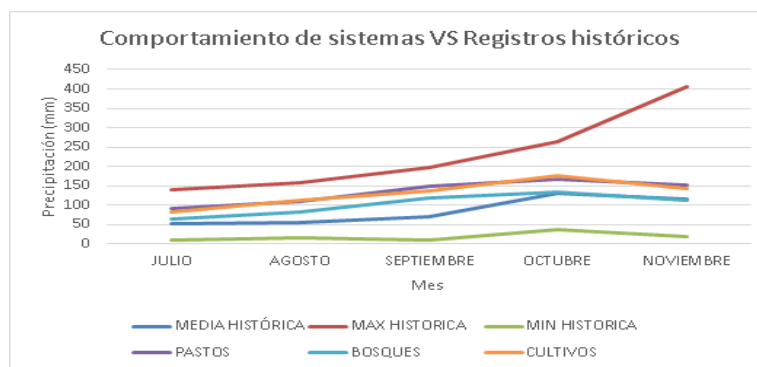


Figura 8. Comportamiento de la precipitación en los sistemas VS registros históricos Fuente: Autores (2017) a partir de registros IDEAM

Los suelos de las parcelas de escorrentía se describen según sus propiedades físicas (Ver tabla 5), pues éstas permiten correlacionar los factores asociados a la erosión hídrica: precipitación, escorrentía e infiltración. Este último factor condicionado por propiedades como la textura, la porosidad, la compactación y la materia orgánica (Valverde, 2007).

Así pues, en las áreas arborizadas de las tres fincas la textura es franco arcillosa y se presentan tasas de infiltración más altas en comparación con los sistemas de cultivo y pradera; en concordancia con Sanchez, Pinilla, & Mancera (2015) quienes afirman que en suelos con mayor cobertura arbórea o cobertura estratificada la infiltración aumenta debido al contenido de materia orgánica, lo que es verificable, teniendo en cuenta que los contenidos de materia orgánica más altos se dieron en este sistema. Los sistemas de pradera, por su parte, presentan infiltraciones más bajas y mayor compactación.

Por otra parte; Sanclemente (2011) y la Universidad de Sevilla (2008), coinciden en que suelos con mayor contenido de arena tienen tasas de infiltración más altas que suelos de texturas finas, puesto que la presencia de macroporos permite la entrada de un mayor caudal de agua. Además, indican que los valores normales de infiltración en suelos francos son de 8 a 20 mm h⁻¹ para suelos franco arenosos de 13 a 25 mm h⁻¹, franco limosos de 4 a 10 mm h⁻¹ y finalmente para suelos franco arcillosos entre 2,5 y 15 mm h⁻¹. En este sentido, los valores de infiltración encontrados en praderas y cultivos son coherentes con los valores normales para su respectiva textura; contrario a la infiltración de los sistemas de área arborizada que son mayores especialmente en la finca El Roble aunque el suelo está compactado los contenidos de arena son muy altos, evidenciándose la relación proporcional entre infiltración y porosidad según la textura.

Tabla 5. Propiedades físicas y parámetros hidrodinámicos de los suelos de las parcelas de escorrentía.

FINCA	SISTEMA	Ib ² (mmh ⁻¹)	COMPACTACIÓN ³	Ar ⁴ (%)	L (%)	A (%)	TEXTURA	MO ⁵ (%)	DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	DENSIDAD REAL (gr/cm ³)	POROSIDAD (%)	Si ⁶	DETERIORO POSIBLE
EL TRIUNFO	Pradera	9,94	6,5	20	29	52	Franco	3,25	1,42	2,58	43,8	6,63	Alto riesgo
	Cultivo	12,13	6,5	36	41	24	Franco arcilloso	4,05	1,21	2,4	49,81	5,26	Alto riesgo
	Área arborizada	27,52	4,2	30	35	36	Franco arcilloso	5,08	1,12	1,46	23,21	7,82	Moderado riesgo
LA LIBERTAD	Pradera	22,40	13,16	20	29	52	Franco	5	1,28	2,26	42,95	10,20	Estable
	Cultivo	19,58	6,2	36	45	20	Franco arcillo limoso	3,56	1,47	2,3	36,37	4,40	Degradado
	Área arborizada	46,32	9,0	30	37	34	Franco arcilloso	6,29	1,11	2,23	49,15	9,39	Estable
EL ROBLE	Pradera	16,18	8,3	36	41	24	Franco arcilloso	4,96	1,08	2,18	50,01	6,44	Alto riesgo
	Cultivo	11,12	6,5	26	25	50	Franco arcillo arenoso	9,01	0,95	1,97	51,83	17,67	Estable
	Área arborizada	38,24	12,5	16	23	62	Franco arcilloso	8,85	1,02	1,38	25,38	22,69	Estable

Fuente: Autores (2016)

² Ib: Infiltración básica³ Según escala de lectura (Tabla 1). SUAVE: 1-5; MARGINAL O NORMAL: 6-10; ACEPTABLEMENTE DURO: 11-15; DURO O SECO: 15-20⁴ Ar: arcilla; L: limo; A: arena⁵ MO: materia orgánica⁶ Si: índice estructural del suelo

La porosidad en los sistemas de cultivo y pradera en general fue entre 42,95% y 51,83% a excepción del cultivo de la finca La Libertad con una porosidad de 36,37% lo cual se considera bajo, ya que según Jaramillo (2002) se considera como valor óptimo un 50%. En cuanto a los sistemas de área arborizada la porosidad en la finca La Libertad es normal mientras que en las otras dos fincas es muy baja con valores menores al 30%; teniendo en cuenta que el espacio de poros del suelo es una propiedad dinámica que sufre cambios con la labranza (FAO, 2000) es posible atribuir lo anterior a los antecedentes de uso de suelo, puesto que en alguna época en el sistema de área arborizada de La Libertad se estableció un cultivo de fríjol como se indicó en la tabla 3.

Rubio (2010), afirma que el valor de la densidad real en horizontes orgánicos de sistemas forestales oscila entre 1,10 -1,40 g/cm³ Adicionalmente estudios realizados también en suelos forestales por Acevedo, Valera, & Prieto (2010), indicaron valores de densidad real entre 1,44 y 2,30 g/cm³ aumentando con la profundidad. Teniendo en cuenta que la porosidad total de un suelo se determina en laboratorio por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total del suelo (Rosa, 2008), el bajo porcentaje de porosidad más bajos 23,21 y 25,38% en los sistemas de área arborizada de las fincas El Triunfo y El Roble respectivamente, se relacionan con los bajos valores de densidad real obtenidos; en la finca El Triunfo la densidad real es de 1,46 g/cm³ observándose un horizonte O con altos contenidos de materia orgánica en proceso de descomposición como se observa en la tabla 3 y en la finca El Roble de 1,38 g/cm³ teniendo este sistema uno de los mayores contenidos de materia orgánica como puede verificarse en la tabla 5.

Adicionalmente la baja porosidad en el área arborizada de la finca El Roble se relaciona probablemente también con la compactación presente y el pastoreo de ganado vacuno. Lo anterior encuentra sustento en la densidad aparente de los suelos, ya que según la FAO (2009) la densidad aparente es un reflejo de la porosidad total de un suelo, además de ser usada como un indicador para la estimación de deterioro del suelo teniendo en cuenta que su valor aumenta o disminuye cuando la estructura del suelo sufre alguna degradación bien sea por compactación o por pérdida de materia orgánica (Jaramillo, 2002).

Los valores de densidad aparente son coherentes con los valores referenciados por Archer y Smith (1972) y Brady (1974) citados por FAO (2000), en el excepcional caso de el sistema de cultivo de la finca El Roble la densidad aparente es menor a 1 g/cm^3 , sin embargo los autores mencionados afirman que suelos derivados de cenizas volcánicas pueden tomar estos valores, lo que coincide con la génesis de suelos de la zona descrita por IGAC (2000).

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos que el hombre da a los mismos ya que definen distintas relaciones de los parámetros hídricos en el suelo y es por ello que la caracterización de dichas propiedades sustenta en gran medida la degradación y erosión de un suelo (Rucks, García, Cplan, Ponce de León, & Hill, 2004). En ese orden de ideas, las pérdidas de suelos totales por erosión hídrica y la escorrentía en cada parcela objeto de estudio se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. *Pérdidas totales por erosión hídrica y escorrentía total*

FINCA	SISTEMA	PRECIPITACIÓN TOTAL(mm)	EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA (mm)
EL TRIUNFO	Pradera	683	0,57	7,02
	Cultivo	770,5	3,09	8,75
	Área arborizada	519	0,19	3,37
LA LIBERTAD	Pradera	681	0,001	2,05
	Cultivo	708	0,34	4,27
	Área arborizada	502,5	0,21	1,30
EL ROBLE	Pradera	636	0,00	0,00
	Cultivo	491,6	8,07	50,68
	Área arborizada	511	4,73	102,06

Fuente: Autores (2017)

Teniendo en cuenta la diferencia de textura entre fincas (ver tabla 5) se realizó un análisis entre sistemas por finca. De manera superficial como se observa en la figura 9 las precipitaciones registradas a través del pluviómetro fueron menores en el sistema de área arborizada coincidiendo con la teoría de Sanchez, Pinilla, & Mancera (2015), quienes indican que las áreas arborizadas tienen un coeficiente de interceptación de dosel mayor que los pastizales y en consecuencia que un sistema de cultivo; también puede observarse que las pérdidas por erosión y la escorrentía son

relativamente bajas respecto a la precipitación y muy inferiores en relación autores como Castillo & Amézquita (2003) quienes registran pérdidas entre 100 y 500kg/ha/año en praderas o Rodriguez, Sepulveda, Camargo, & Galvis (2009) quienes encontraron pérdidas en sistemas de cultivo de 2610kg/ha y en áreas arborizadas y praderas de 90kg/ha.

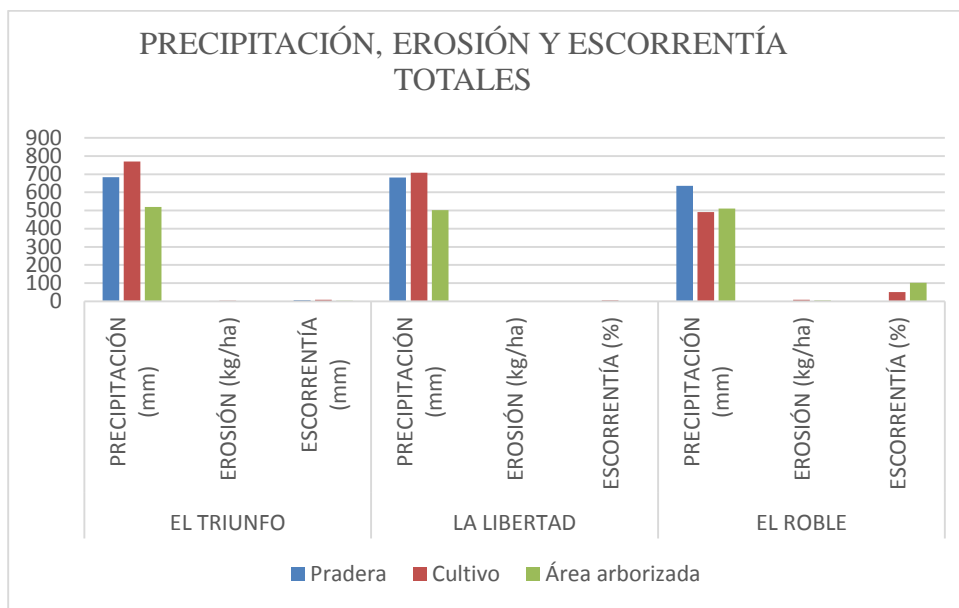


Figura 9. Totales por finca y sistemas de precipitación, erosión y escorrentía. Fuente: Autores (2017)

De manera general, las mayores pérdidas de suelo se presentaron en los sistemas de cultivo de las fincas El Triunfo con 3,09 kg/ha y El Roble con 8,07 kg/ha mientras que las menores pérdidas se presentaron en el sistema de pradera de la finca La Libertad con 0,001kg/ha, sin embargo la mayor escorrentía no corresponde precisamente a estos sistemas sino al sistema de área arborizada de la finca El Roble con un total de 102,06mm escurridos de un total de 511mm precipitados lo que coincide con lo dicho por Wei, y otros (2007) citado por Sanchez, Pinilla, & Mancera (2015) y FAO (1987) quienes indican que los áreas arborizadas de pinos y eucaliptos generan niveles de escorrentía mayores a una pradera sin ninguna cobertura arborea.

En la finca El Triunfo el sistema de cultivo presentó la mayor escorrentía y la mayor erosión respecto a los sistemas de pradera y área arborizada en la misma finca; la erosión fue aproximadamente un 83% más alta que en la pradera y un 94% más alta que en el área arborizada. Existen factores que determinan la cantidad de erosión hídrica como: la precipitación, la cobertura

vegetal, el manejo de los suelos, entre otros (Salas, 2011); (Almorox, López, & Rafaelli, 2010); (Nuñez, 2001); (Quiroz & Hincapie, 2007); en este sentido, durante las semanas 42 a 45 se concentraron las tasas de erosión y escorrentía del sistema de cultivo (ver anexo 9) coincidiendo con la época de mayor régimen de precipitación y con el cambio de cobertura del suelo que se presentó en esta época cuando se cosechó el frijol y se preparó el suelo para la siembra de lulo y tomate de árbol quedando totalmente descubierto y expuesto a los efectos de la erosión.

De acuerdo con lo anterior diversos autores como Almorox , López , Rafaelli, & Silvia (2010) ; UNESCO (2010); Moreno, y otros (2011) y Nuñez (2001) confirman que la ausencia de cobertura vegetal favorece los procesos erosivos por salpique puesto que el impacto de las gotas de lluvia en el suelo es directo; por el contrario, si el suelo está cubierto obtiene más materia orgánica y rugosidad superficial evitando así los efectos de la escorrentía.

La escorrentía en este sistema puede considerarse baja, aunque es mayor que en los sistemas de pradera y área arborizada de la misma finca, lo cual se argumenta en la compactación presente como se indica en la tabla 5, adicionalmente el suelo de este sistema de cultivo presenta bajos contenidos de materia orgánica que conllevan a que se encuentre en un alto riesgo de degradación. Teniendo en cuenta que las prácticas de manejo como el excesivo laboreo o la preparación y surcado del terreno con maquinarias y a favor de la pendiente, entre otras favorecen la escorrentía y el proceso erosivo al modificar y deteriorar las propiedades físicas del suelo (Taypanta, 1993); el estado del suelo se atribuye probablemente al historial del mismo puesto que siempre se han sembrado los mismos cultivos a favor de la pendiente y en la preparación del suelo se ha hecho uso de tractor como se constata en la Tabla 2.

Al igual que el sistema de cultivo en la finca El Triunfo, el sistema de pradera se encuentra en alto riesgo de degradación, compactado y con bajos contenidos de materia orgánica. Sin embargo las pérdidas por erosión son notablemente inferiores aunque la escorrentía en los dos sistemas es similar, esto se debe a la influencia de la cobertura vegetal ya que como cita la UNESCO (2010) la cobertura vegetal es un factor determinante en el riesgo de erosión de un suelo y posee una relación inversamente proporcional con ésta, es decir a mayor cobertura menor erosión

y en este sentido la pradera constituyó un 100% de cobertura superficial al suelo durante toda la época de estudio.

En cuanto al sistema de área arborizada de la finca El Triunfo, éste presentó los niveles más bajos tanto de precipitación, como de erosión y escorrentía lo que demuestra la relación existente entre estos factores y las propiedades físicas del suelo pues el suelo de este sistema no presenta compactación y tiene una tasa de infiltración más alta. Sin embargo el sistema presenta un moderado riesgo de degradación, lo cual se debe a el tamaño de partículas que predomina en el suelo y los bajos contenidos de materia orgánica que presenta, pues como se observa en la tabla 5, los porcentajes de arenas y limos son más altos que el contenido de arcillas y como afirman Stocking & Murnaghan (2003) los suelos con altos porcentajes de limos y arenas son los más erosionables pues poseen menor cohesión entre partículas que las arcillas y por tanto son más fáciles de remover y transportar.

Los análisis estadísticos se efectuaron con el programa PSSP se aplicó una prueba de análisis de varianza en una vía (ANOVA) con el fin de definir la relación entre precipitación-erosión y precipitación-escorrentía en cada sistema; los sistemas se identificaron con la inicial del agricultor y con las siglas PAS (pastos o pradera), BOS (área arborizada) y CUL (cultivo). Para este efecto se analizaron el total de los registros de precipitación, erosión y escorrentía en la finca La Libertad (Ver anexo 10) y El triunfo (Ver anexo 9) mientras que para la finca El Roble se tuvieron en cuenta para el sistema de cultivo el 80% de los datos registrados, es decir 18 registros de un total de 20 semanas analizadas; los 2 registros descartados correspondieron a cantidades de volumen de escorrentía no consecuentes con la cantidad de agua caída en la parcela (ACP) (Ver anexo 11).

En la finca El Triunfo los análisis tanto de precipitación-erosión (Ver tabla 7) como de precipitación-escorrentía (Ver tabla 8) la mayoría de sistemas mostraron que no hay diferencia significativa entre los sistemas a excepción de la escorrentía en el sistema de cultivo donde si existe diferencia significativa y el valor F es alto, lo que indica una alta relación entre las variables escorrentía y precipitación como se describió anteriormente.

Tabla 7. ANOVA Precipitación VS Erosión en Finca El Triunfo

		Suma de cuadrados	df	Cuadrados medio	F	sign
<i>Erosión CPAS</i>	<i>Entre grupos</i>	,03	17	,00	14,89	,065
	<i>Intra grupos</i>	,00	2	,00		
	<i>Total</i>	,03	19			
<i>Erosión CBOS</i>	<i>Entre grupos</i>	,00	17	,00	2,88	,288
	<i>Intra grupos</i>	,00	2	,00		
	<i>Total</i>	,00	19			
<i>Erosión CCUL</i>	<i>Entre grupos</i>	2,84	17	,17	,8,44	,111
	<i>Intra grupos</i>	,04	2	,02		
	<i>Total</i>	2,88,	19			

Fuente: Autores (2017)

Tabla 8. ANOVA Precipitación VS Escorrentía en Finca El Triunfo

		Suma de cuadrados	df	Cuadrados medio	F	sign
<i>Escorrentía CPAS</i>	<i>Entre grupos</i>	4,31	17	,25	1,43	,490
	<i>Intra grupos</i>	,36	2	,18		
	<i>Total</i>	4,67	19			
<i>Escorrentía CBOS</i>	<i>Entre grupos</i>	,95	17	,06	2,26	,350
	<i>Intra grupos</i>	,05	2	,02		
	<i>Total</i>	1,00	19			
<i>Escorrentía CCUL</i>	<i>Entre grupos</i>	23,88	17	1,40	48,95	,020
	<i>Intra grupos</i>	,06	2	,03		
	<i>Total</i>	23,93	19			

Fuente: Autores (2017)

Por otra parte, en el sistema de cultivo de la finca La libertad las pérdidas fueron notoriamente menores con 0,34 kg/ha frente a los sistemas de cultivo de la finca El Triunfo con 3,09 kg/ha y la finca El Roble con unas pérdidas por erosión de 8,07 kg/ha pero mayores frente a los sistemas pradera y área arborizada de la finca. Lo anterior se atribuye a la inexistencia de suelo debido al estado de degradación presente en el sistema de cultivo de La Libertad ya que como

afirma Cabeda (1983) la degradación física del suelo se expresa como encostramiento superficial disminuyendo en consecuencia propiedades físicas del suelo como la densidad y la tasa de infiltración y aumentando la escorrentía y erosión; en concordancia con la teoría el contenido de materia orgánica y la porosidad en este suelo son los más bajos.

La escorrentía en este sistema es relativamente baja y la infiltración es la más alta con $19,5\text{mmh}^{-1}$ frente a los sistemas de cultivo de la finca El Roble con una tasa de infiltración de $11,12\text{mmh}^{-1}$ y El Triunfo de $12,13\text{mmh}^{-1}$ como se menciona en la tabla 5; los autores atribuyen la baja escorrentía presentada posiblemente a escorrentía subsuperficial, sin embargo, esto no se puede aseverar ya que el estudio se limitó a la medición de escorrentía superficial. En cuanto a la alta tasa de infiltración se presume que posiblemente se debe a las grietas observadas en el suelo en el momento de las pruebas de infiltración.

De otro lado, autores como Gliessman (2002) y Ramirez, Hincapie, & Sadeghian (2009), afirman que la relación causa- efecto entre la agricultura convencional y la erosión del suelo, es directa; las prácticas históricas aplicadas a un suelo como la labranza intensiva, los monocultivos, la falta de cobertura del suelo, entre otras, hace que éste se encuentre expuesto al efecto erosivo de la lluvia y a su vez la reducción de la fertilidad natural del suelo aumenta los costos de producción, ya que el suelo demanda una mayor cantidad de fertilizantes; adicionalmente, Ramirez (2009) indica que el uso de plaguicidas de síntesis química altera el balance de las complejas relaciones que se llevan a cabo en el sistema suelo y de las propiedades físicas del mismo. En concordancia con lo anterior en la Tabla 2, se evidencian gran parte de las prácticas mencionadas que favorecen la erosión y los cambios en las propiedades físicas del suelo, además durante la época de estudios se observó un decaimiento en la producción de granadilla lo que llevo a una siembra de maíz; todo lo anterior conlleva a inferir que la producción en el sistema de cultivo de la finca La Libertad se mantiene básicamente por la aplicación de insumos externos de síntesis química.

Por su parte, el sistema de área arborizada de la finca La Libertad presentó mayores pérdidas por erosión con $0,21\text{kg/ha}$ que el sistema de pradera con $0,0001\text{kg/ha}$ a pesar de que el sistema de área arborizada presento una menor escorrentía, lo anterior encuentra argumento en las propiedades físicas de cada uno de estos sistemas presentados en la Tabla 5. Según Gol,(2009)

citado por Sanchez, Pinilla, & Mancera,(2015) a mayor contenido de materia orgánica mayor es la tasa de infiltración independientemente de la textura del suelo siempre y cuando los contenidos de materia orgánica sean mayores al 5%; en concordancia el sistema de área arborizada tiene un porcentaje de materia orgánica de 6,29% y una tasa de infiltración de 46,32 mm h⁻¹ mientras que el sistema de pradera tiene un contenido de materia orgánica del 5% y una tasa de infiltración de 22,40 mm h⁻¹ , lo que explica el mayor volumen de escorrentía de la pradera. Adicionalmente, como indican González, Iglesias, & Herrera (2009), factores como la presión por sobrecarga en un suelo especialmente por ganadería, la labranza intensiva y la realización de labores en condiciones inadecuadas de humedad provocan compactación; en este sentido tanto el sistema de pradera como el área arborizada presentan un grado de compactación el cual para el sistema de área arborizada se atribuye a la intervención realizada para la siembra de fríjol y al pastoreo eventual de ganado como se refleja en la Tabla 2, mientras que en la pradera este grado de compactación es mucho más alto puesto que el pastoreo es continuo.

Los análisis estadísticos para la finca La Libertad tanto de precipitación-erosión (Ver tabla 9) como de precipitación-escorrentía (Ver tabla 10) para todos los sistemas mostraron que no hay diferencia significativa por lo cual no se realizaron análisis posteriores y se realizó el anterior análisis descriptivo.

Tabla 9. ANOVA Precipitación VS Erosión en Finca La Libertad

		Suma de cuadrados	df	Cuadrados medio	F	sign
<i>Erosión NPAS</i>	<i>Entre grupos</i>	,01	18	,00	,94	,683
	<i>Intra grupos</i>	,00	1	,00		
	<i>Total</i>	,01	19			
<i>Erosión NBOS</i>	<i>Entre grupos</i>	,00	18	,00	2,45	,469
	<i>Intra grupos</i>	,00	1	,00		
	<i>Total</i>	,00	19			
<i>Erosión NCUL</i>	<i>Entre grupos</i>	,01	18	,00	,13	,987
	<i>Intra grupos</i>	,00	1	,00		
	<i>Total</i>	,01	19			

Fuente: Autores (2017)

Tabla 10. ANOVA Precipitación VS Escorrentía en Finca La Libertad

		<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Cuadrados medio</i>	<i>F</i>	<i>sign</i>
<i>Escorrentía NPAS</i>	<i>Entre grupos</i>	268,38	18	14,91	2,41	,472
	<i>Intra grupos</i>	6,18	1	6,18		
	<i>Total</i>	274,56	19			
<i>Escorrentía NBOS</i>	<i>Entre grupos</i>	211,73	18	11,76	2,16	,495
	<i>Intra grupos</i>	5,43	1	5,43		
	<i>Total</i>	2,17,16	19			
<i>Escorrentía NCUL</i>	<i>Entre grupos</i>	4663,05	18	259,06	16,36	,192
	<i>Intra grupos</i>	15,83	1	15,83		
	<i>Total</i>	4678,89	19			

Fuente: Autores (2017)

Referente a la finca El Roble, tenemos que el sistema de pradera no presentó erosión ni escorrentía a pesar de que el índice de estabilidad estructural indica un alto riesgo de degradación, el cual se vincula posiblemente a el bajo contenido de materia orgánica y el alto porcentaje de limos respecto a los contenidos de arcilla y arena pues como indica Stocking & Murnaghan (2003) los suelos con mayor contenido de texturas finas son más susceptibles a erosión.

Este sistema de pradera presentó compactación atribuida a el pastoreo de ganado vacuno, sin embargo presenta una porosidad y tasa de infiltración óptima, lo anterior y el hecho de que no se registró ni erosión ni escorrentía se atribuye a las afirmaciones de Suárez (2001), quien indica que en las praderas la vegetación actúa como un filtro de agua que disminuye la velocidad del agua y captura los sedimentos que puedan transportarse en ella, proceso que se da eficientemente en corrientes de agua pequeñas. Adicionalmente hace referencia a las praderas de pasto kikuyo, como una especie que por excelencia disminuye la erosión inclusive hasta niveles nulos, debido a que sus raíces profundas y densas forman una membrana protectora semejante a un colchón que puede alcanzar los 50cm de profundidad y la fuerte estructura de los estolones refuerza las masas de suelo superficiales limitando la erosión. En este sentido se presume que posiblemente en este sistema se de escorrentía subsuperficial sin embargo no puede afirmarse pues este estudio se limitó a la medición de escorrentía superficial.

Por otra parte, el sistema de cultivo, como se mencionó inicialmente, tuvo las mayores pérdidas de suelo de todos los sistemas y fincas con 8,07 kg/ha y una de las más altas escorrentías con 50,68mm escurridos de un total de 491,6mm de precipitación lo cual se relaciona con el hecho de que este sistema tiene la menor tasa de infiltración con 11,12 mm h⁻¹ frente a todos los demás sistemas; por su parte la erosión en este caso se atribuye no solo al efecto de la escorrentía sino posiblemente a la remoción del suelo efectuada por las gallinas que pastorean libremente en la zona y remueven el suelo como indica la Tabla 2 y como pudo observarse en el transcurso de la investigación. Aunque la erosión fue la más alta el sistema se encuentra en un estado estable y esto probablemente se deba al contenido de materia orgánica pues es el porcentaje más alto de todos los sistemas y fincas con 9,01% y a los porcentajes de limo y arcillas presentes pues como indica la UNESCO (2010) el porcentaje de limo es decisivo en la relación erosión-textura ya que es quien proporciona la cohesión entre las arcillas y las arenas.

Sin embargo, la escorrentía más alta no correspondió precisamente a la erosión más alta, es decir al cultivo de la finca El Roble, pues el mayor volumen de escorrentia se dio en el sistema de área arborizada con 102,06 mm de agua escurrida respecto a 511 mm de precipitación; aunque si correspondió a las pérdidas más altas de sedimentos respecto a los otros dos sistemas de área arborizada con 4,73 kg/ha, mientras que en el sistema de área arborizada de El Triunfo la erosión fue de 0,19 kg/ha y en la Finca La Libertad de 0,21 kg/ha de suelo perdido por erosión hídrica. Ésta alta tasa de escorrentía en el sistema de área arborizada se atribuye al estado de compactación del suelo posiblemente causado por el pastoreo de ganado vacuno, como demuestra la Tabla 2 y según lo mencionado por González, Iglesias, & Herrera (2009).

Adicionalmente el aumento en la erosión frente a los demás sistemas de área arborizada se relaciona posiblemente a las afirmaciones de autores como la UNESCO (2010); Taypanta (1993) y Flores (1993), quienes indican que la altura y la continuidad de la copa de árboles y la densidad de la cobertura superficial pueden influir negativamente en la reducción de la erosión debido a que los árboles de copa muy alta en un diseño agroforestal sin estratificación, pueden generar mayor erosión que un suelo descubierto; ya que no disminuyen la energía cinética de las gotas de lluvia y en algunos casos por la forma de las hojas el agua se acumula generando un mayor impacto al caer. La alta erosión se asocia también a lo dicho por Stocking & Murnaghan (2003), ya que como

se muestra en la Tabla 5 el porcentaje de arenas (62%) y limos (23%) es más alto que el porcentaje de arcillas (16%) favoreciendo el desprendimiento y arrastre de partículas

Estadísticamente en esta finca los análisis tanto de precipitación-erosión (Ver tabla 11) como de precipitación-escorrentía (Ver tabla 12) mostraron homogeneidad en todos los grupos analizados.

Tabla 11. ANOVA Precipitación VS Erosión en Finca El Roble

		<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Cuadrados medio</i>	<i>F</i>	<i>sign</i>
<i>Erosión MPAS</i>	<i>Entre grupos</i>	,00	19	,00	NaN	NaN
	<i>Intra grupos</i>	,00	0	NaN		
	<i>Total</i>	,00	19			
<i>Erosión MBOS</i>	<i>Entre grupos</i>	8,80	17	,52	NaN	NaN
	<i>Intra grupos</i>	,00	0	NaN		
	<i>Total</i>	8,80	17			
<i>Erosión MCUL</i>	<i>Entre grupos</i>	2,31	10	,23	,00	NaN
	<i>Intra grupos</i>	,00	0	-Infinity		
	<i>Total</i>	2,31	10			

Fuente: Autores (2017)

Tabla 12. ANOVA Precipitación VS Escorrentía en Finca El Roble

		<i>Suma de cuadrados</i>	<i>df</i>	<i>Cuadrados medio</i>	<i>F</i>	<i>sign</i>
<i>Escorrentía MPAS</i>	<i>Entre grupos</i>	,00	19	,00	NaN	NaN
	<i>Intra grupos</i>	,00	0	NaN		
	<i>Total</i>	,00	19			
<i>Escorrentía MBOS</i>	<i>Entre grupos</i>	4379,76	16	273,74	,00	NaN
	<i>Intra grupos</i>	,00	0	-Infinity		
	<i>Total</i>	4379,76	16			
<i>Escorrentía MCUL</i>	<i>Entre grupos</i>	13028,15	10	1302,82	NaN	NaN
	<i>Intra grupos</i>	,00	0	NaN		
	<i>Total</i>	13028,15	10			

Fuente: Autores (2017)

Finalmente se obtuvo el total de pérdidas por tratamiento (cultivo, área arborizada, pradera) obteniendo las mayores pérdidas de suelo en el sistema de cultivo con 11,5 kg/ha, seguido de área arborizada con 5,13 kg/ha y las menores pérdidas se obtuvieron en el sistema de pradera con pérdidas de 0,571 kg/ha de acuerdo con lo afirmado por Hill, Clérici, Mancassola, & Sanchez (2015) y los estudios de Alvarado, López, & Castillo (2011) y Castillo & Amézquita (2003) quienes encontraron mayores pérdidas en sistemas de cultivo y suelos desnudos y menores pérdidas de suelo en sistemas con incorporación de pasturas puesto que permite un mejor amarre en el suelo que evita la erosión y retiene el suelo que ya se ha transportado por escorrentía. Sin embargo contrario a los hallazgos de los estudios realizados por (Rodríguez, Sepulveda, Camargo, & Galvis, 2009), el sistema de área arborizada presentó pérdidas de suelo más altas que el sistema de pradera lo cual confirma los estudios realizados por Wei, y otros (2007) citado por Sanchez, Pinilla, & Mancera (2015) y FAO (1987) quienes indican que las plantaciones de pinos y eucaliptos generan niveles de escorrentía mayores a una pradera sin ninguna cobertura arborea y se asocia a las afirmaciones de autores como la UNESCO (2010); Taypanta (1993) y Flores (1993), quienes indican que la altura y la continuidad de la copa de árboles y la estratificación presente en las coberturas pueden influir negativamente en la reducción de la erosión, por lo cual recomiendan especies frondosas de copas más bajas para disminuir los efectos de la erosión.

5 CONCLUSIONES

- En la vereda Santa Marta, Zona de Reserva Campesina de Cabrera las pérdidas por erosión hídrica en sistema de cultivo son de 11,5kg/ha, en área arborizada 5,13 kg/ha y en pradera se pierden 0,57 kg/ha de sedimentos.
- El sistema de cultivo con cobertura de frijol en la Finca El Triunfo tuvo menores pérdidas por erosión y menor escorrentía que el sistema de cultivo de granadilla de la Finca El Roble con 3,09 kg/ha de suelo perdidos y 8,75 mm de escorrentía frente a 8,07 kg/ha y 59,08 mm respectivamente.
- Cuando se mide la erosión en un sistema degradado, las pérdidas por erosión son menores que en sistemas en riesgo. El sistema de cultivo de granadilla de la finca La Libertad presentó pérdidas por erosión de 0,34 kg/ha, menor que el cultivo de frijol y el cultivo de granadilla de la finca El Roble
- El sistema de área arborizada presentó en promedio una erosión más alta con 5,13 kg/ha que el sistema de pradera, donde las pérdidas promedio disminuyeron a 0,571 kg/ha.
- Las áreas arborizadas con eucalipto no estratificado contribuyen al aumento de la erosión por acumulación de gotas de lluvia y aumento de la energía cinética de las mismas.
- La cobertura vegetal superficial del pasto Kikuyo y su sistema radicular amarra las partículas de suelo y por su rugosidad filtra el suelo arrastrado en el agua, disminuyendo de manera eficiente la erosión y las tasas de escorrentía.
- La erosión en sistemas de pradera se asocia principalmente a la compactación por la carga pecuaria.

- La erosión y la escorrentía en sistemas de cultivo tienen relación directa principalmente con la cobertura vegetal y las propiedades físicas de infiltración, compactación y porcentajes de los componentes texturales.
- Tanto la erosión como la escorrentía son mínimas en relación con las precipitaciones presentadas en todos los sistemas durante la época de estudios, es decir que no se encontró una influencia directa de la precipitación en la erosión y la escorrentía.
- El estado de deterioro en las propiedades físicas del suelo caracterizadas en el sistema de cultivo en la finca La Libertad, hace que la precipitación no genere el mismo efecto erosivo que en sistemas de cultivo con suelos en riesgo debido a la inexistencia de suelo ya que el proceso de degradación ya es avanzado.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios posteriores de técnicas y prácticas que permitan recuperar el suelo degradado, prevengan la degradación de los suelos en riesgo y contribuyan al mantenimiento de condiciones óptimas en los suelos estables para lograr un manejo sostenible de los suelos.
- Metodológicamente se recomienda utilizar láminas de super board con el mismo tratamiento, puesto que cumplió con el objetivo de delimitar e impedir la entrada o salida de agua, pero con un grosor más alto con el fin de obtener una mayor resistencia ya que aunque este material es hasta 5 veces más económico que otros materiales el mantenimiento demanda bastante frecuencia y atención.
- En proyectos que evalúen la erosión hídrica y esorrentía a futuro, es importante caracterizar la precipitación no solo desde la cantidad de mm sino de la intensidad, duración y frecuencia de los eventos ya que esto permite realizar análisis más preciso sobre el efecto erosivo de la lluvia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abi-Saab, R. (2012). *Evaluación de la calidad del suelo, ene el sistema productivo orgánico La Estancia, Madrid, Cundinamarca,2012. Utilizando indicadores de calidad de suelos.* (P. U. Javeriana, Ed.) Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8990/AbiSaabArriecheRosana2012.pdf;jsessionid=86D0C147441E552A5A823FEDD07BA850?sequence=1>
- Acevedo, A. (2015). Revaloración de las funciones múltiples de las agriculturas del campesinado como estrategia de resistencia y adaptación en la cuenca del río Guaguarco, Sur del Tolima-Colombia. *Universidad Nacional de Colombia.*
- Acevedo, O., Valera, M., & Prieto, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlan, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(2), 137-150.
- Alcaldía Municipal de Cabrera Cundinamarca. (2012). *Plan de Desarrollo Sostenible Zona de Reserva Campesina de Cabrera (Cundinamarca).* Cabrera.
- Almorox, J., López, F., & Rafaelli, S. (2010). *La Degradación de los Suelos por Erosión Hidrica, Métodos y estimación.* Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Alvarado, K., López, V., & Castillo, J. (2011). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa *Solanum tuberosum* L. *Revista de ciencias agrícolas*, 64-72.
- Amézquita, E., & Hernández, L. (1999). La compactación del suelo y sus efectos en la productividad de los suelos. *Congreso costarricense de la ciencia del suelo*, (págs. 1-25). Costa Rica.

- Asensio, S., Moreno, H., & Blanquer, J. (2010). *CARACTERÍSTICAS DEL INFITRÓMETRO DE DOBLE ANILLO*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>
- Banco mundial. (2008). *Manejo Sostenible de la Tierra: desafíos, posibilidades y costos de oportunidad*. Washington DC: Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31171/SpanishLandSourcebook.pdf>
- Barragan, R., Salman, T., Ayllón, v., Sanjines, J., Langer, E., Cordoba, J., & Rojas, R. (2001). *Guía para la formulación y ejecución de proyectos de investigación*. Bolivia: Fundación PIEB.
- Bautista, F., & Palacios, Á. (2005). *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias forestales y Ambientales*. Mexico, Mexico, Campeche: Universidad Autónoma de Campeche; Merida, Yucatán: Universidad Autonoma de Yucatán;Coyoacán, México, D.F: : Instituto Nacional de Ecología.
- Brenes, A., & Saborío, V. F. (1995). *Elementos de Climatología: Su aplicación Didactica a Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Universitaria Estatal a Ditancia.
- Cabeda, M. (1983). Degradação física e erosão. En: I Simpósio de manejo do solo e plantio direito no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto. Passo fundo.
- Cadena, B., Egas, D., Ruiz, H., Mosquera, J., & Benavides, O. (2012). Efecto de cinco sistemas de labranza, en la erosión de un suelo vitric haplustand, bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). *Revista de ciencias agrícolas*, 29(2), 116-128.
- Cansermeiro, J., De Pettre, A., Spahn, E., & Valenti, R. (2001). Efectos del Desmonte sobre la Vegetación y el Suelo. *INvest. Agr: Sist. Recur. For.;* <http://www.inia.es/IASPF/2001/vol10-2/caser.PDF>, 233-244.

- CAR. (2006). *Elaboración de los Estudios de Diagnóstico Proyectiva y Formulación para la Cuenca Hidrográfica de los ríos Ubaté y Suarez (Departamento de Cundinamarca)*. Bogotá D. C.: Union emporal AUDICON AMBIOTEC.
- Casanellas, J., Acevedo, M., & Poch, R. (2014). *Edafología: Uso y Protección de los Suelos* (Tercera edición ed.). Mexico, Mexico: Mundi-Prensa.
- Castillo, J., & Amézquita, E. (2003). Erosión hídrica y degradación de suelos en laderas andinas. *Revista de ciencias agrícolas*, 80-89.
- CENICAFE. (1982). *Cuarenta años de investigación CENICAFE. Suelos* (Vol. 1). Chinchina: CENICAFE.
- Claro, A., Monedero, M., Hernández, S., Somoza, V., & Sánchez, L. (2000). Efecto de la compactación del suelo en la producción de fríjol. *Agronomía mesoamericana*, 11(1), 53-57. Obtenido de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v11n02_053.pdf
- DANE. (2014). *Censo Nacional Agropecuario*. Boletín técnico, Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/avanceCNA/Boletin%20tecnico-%2021Octubre.pdf>
- DANE. (2016). *Uso, cobertura y tenencia del suelo 3er Censo Nacional Agropecuario 2014 resultados entrega 1*. Colombia: DANE. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-1-Uso-del-suelo/1-Presentacion.pdf>
- De la Lanza, G., Cáceres, C., Adame, S., & Hernández, S. (1999). Diccionario de Hidrología y Ciencias Afines. 287.
- Ellison, W. D. (1947). Soil Erosion Studies. *Agricultural Engineering*, 28.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. *Recursos naturales e infraestructura*, N° 50.

- FAO. (1987). *Efectos ecológicos de los eucaliptos*. Roma.
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Italia: ONU.
- FAO. (2003). *Evaluación de la Degradación de Tierra en Zonas Áridas LADA*. Roma: Publicaciones FAO; http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Plada/file/Docs/evaluacion_degradacion_borrador_03.pdf.
- FAO. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Roma.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- FAO. (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. Departamento Forestal; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia: FRA2010/009, <http://www.fao.org/docrep/013/al445S/al445s.pdf>.
- FAO. (4 de Diciembre de 2015). *Los Suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Obtenido de FAO: www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/?utm_source=facebook&utm_medium=social+media&utm_campaign=fao+facebook
- FAO. (Sf). *Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*. Obtenido de FAO.org: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
- FAO. (Sf). *Levantamiento de suelos: propiedades físicas del suelo*. Obtenido de Portal de suelos de la FAO: <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fassbender, H.-W. (1993). *Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales*. Turrialba, Costa Rica, Costa Rica: Bib. Orton IICA/CATIE.
- Flores, F. (1993). *Evaluación de Impactos de la Erosión Hídrica durante el Proceso de Arrime con Motogrua*. Chapingo: UACH.

- Forsythe, W. (1985). *Física de suelos: manual de laboratorio*. Costa Rica: IICA.
- García, P. (2005). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica . En F. Valladares, *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (págs. 309- 334). Organismo Autonomo Parques Nacionales.
- Gavande, S. A. (1972). En *Física de Suelos Principios Y Aplicaciones* (págs. 279-298). Mexico: Limusa Wiley, S. A-.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología*. (CATIE, Ed.) Turrialba, Mexico: Eric Engles.
- Gol, C. (2009). The effects of land use change on soil properties and organic carbon at Dagdami river catchment in Turkey. *Journal of Enviromental Biology*(30), 825-830.
- Gómez, A., & Rivera, H. (1993). La Conservación de los Suelos y la Sostenibilidad de la Productividad en la Zona Cafetera. *Avances Técnicos Cenicafe*, <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0190.pdf>, 8.
- Gomez, M. (2006). *Introducción a la metodología dela investigación científica*. Cordoba: Editorial Brujas.
- González, O., Iglesias, E., & Herrera, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, XVIII(2), 57-63.
- Hellin, J. (2004). *De Erosión de Suelos a Suelos de Calidad*. Recuperado el 22 de 01 de 2016, de LEISA Revista Agroecológica: http://www.agriculturesnetwork.org/magazines/latin-america/4-rehabilitacion-de-tierras-degradadas/de-erosion-de-suelos-a-suelos-de-calidad/at_download/article_pdf
- Heredia, E. (Sf). *Densidad real aparente y porosidad del suelo*. (P. U. Perú, Editor) Obtenido de http://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO

- Hill, M., Clérici, C., Mancassola, V., & Sanchez, G. (2015). Estimación de pérdidas por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Revista Agrociencia Uruguay*, 94-101.
- Hincapié, E., & Ramirez, F. A. (2010). *Riesgo a la Erosión en Suelos de Ladera de la Zona Cafetera*. (S. M. L., Ed.) Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/404/1/avt0400.pdf>
- Honorato, R. (2000). *Manual de Edafología* (4 ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Hopkins, E., Palmer, A., & Chepil, W. (1946). Soil Drifting Control en the Prairie Provinces. (D. o. Service, Ed.) *Farmers Bulletin*, 32(568).
- Hudson, N. (2006). *Conservación del Suelo*. (J. M. García Ruiz, & J. P. Martínez Rica, Trads.) Barcelona, Loreto, España: Editorial Reverté S. A.
- Ibañez, S., Gisbert, J., & Moreno, H. (2010). *La estructura del Suelo*. Valencia, España: Universidad Politecnico de Valencia. Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Agronomos.
- Ibarra, D., Ruiz, J., Gonzales, D., & Flores, J. (2008). Clasificación espacial de la textura de los suelos agrícolas de Zapopan Jalisco. *Avances en la Investigación científica en el Cucha* (págs. 37-47). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- IDEAM. (2001). *Manual del observador meteorológico*. Medellín: IDEAM.
- IGAC. (2000). Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento de Cundinamarca. *Cartografía*.
- IGAC; IDEAM; MAVDT. (2010). *Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Desertificación*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- INCODER, ILSA, SINPEAGRICUN. (Abril- Mayo de 2012). *Zonas de reserva campesina: elementos introductorios y de debate*. ILSA.

- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: UNAL.
- Kelley, H. W. (1983). *Manténgamos viva la Tierra: causas y remedios de la erosión del suelo*. Roma: FAO.
- Lacasta, C., Meco, R., & Naire, N. (2005). *Evolución de las Producciones y de los Parámetros Químicos y Bioquímicos del Suelo, en Agrosistemas de Cereales, Sometidos a Diferentes Manejo de Suelo Durante 21 Años*. Córdoba: Congreso Internacional Sobre Agricultura de Conservación.
- Lang Penetrometer Inc. (Sf). *Introduction of Lang Penetrometer*. Obtenido de <http://www.environmental-expert.com/products/lang-penetrometer-97677>
- LEY 160. (3 de Agosto de 1994). Por la cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, se establecen un Subsidio para la adquisición de Tierras se reforma el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria y se dictan disposiciones. Bogotá, Colombia: Diario Oficial No. 41.479, de 5 de agosto de 1994 .
- Londoño, C. (2001). *CUENCAS HIDROGRÁFICAS: BASES CONCEPTUALES – CARACTERIZACIÓN PLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN*. Ibagué: UT.
- López Sardá, L. (2004). *Aplicación de las Técnicas de Restauración Hidrológico Forestal en la Recuperación de áreas Degradadas por Incendios Forestales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- López, J., Pulido, A., & Baquero, J. (2005). *Agua, minería y medio ambiente*. IGME.
- Maderey Rascón, L. E., & Román, J. (2005). *Principios de Hidrogeografía, Estudio del Ciclo Hidrológico*. (S. d. Universitarios, Ed.) Mexico, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- McGregor, K., Greer, J., & Gurley, G. (1975). *Erosion control whit No-Till Cropping Practices*. American Society og Agricultural Engineers.

- Meyer, L., & Harmon, C. (1984). Susceptibility of Agricultural Soils to Interrill Erosion. *Soil Science Society of America Journal* ; <http://www.ljemail.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1413258>, 48, 1152-1157.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Plan de Acción Nacional de Lucha Contra la desertificación y la Sequía en Colombia*. Bogotá D. C.: Viceministerio de Ambiente, Dirección de Ecosistemas.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2015). *Si no protegemos el suelo, corre riesgo de desaparecer*. Recuperado el 12 de enero de 2016, de MINAMBIENTE: www.minambiente.gov.co/index.pdp/noticias/2161
- Mintegui, J., & López, F. (1990). *La Ordenación Hidrológica en al Planificación*. Argitalpen: Servicio Central de Publicaciones de Gobierno Vasco.
- Molano, M., & Forero, J. (1896). *Influencia de la Humedad Inicial del Suelo sobre la Infiltración*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.
- Moreno, J., Rodríguez, A., Maldonado, E., Tapia, G., Lucero, & Rigoberto. (2011). *Amenaza a Erosión Hidrica*. Canton Manta: Geopedología y Amenazas Geológicas.
- Morgan, R. P. (1997). *Erosión y Conservación de Suelos*. Madrid: S. A. Multipresa Libros.
- Müller, A. (2013). *Pluviómetros y Pluviógrafos*. Chausseestraße, Königs Wusterhausen: Meteorologische Instrumente kg.
- Müller, K., & Restrepo, J. (1997). *Conservación de Suelos y Aguas en la Zona Andina*. Cali: Centro Interacional de Agricultura Tropical, http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/tsbf/pdf/conservacion_suelos_contenido.pdf.
- Murillo, A. U. (2010). *Tecnología de suelos: estudio de casos*. Universidad de Zaragoza.

- Núñez Solís, J. (2001). *Manejo y Conservación de Suelos*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, EUNED.
- Núñez, J. (1981). *Fundamentos de Edafología*. EUNED.
- Núñez, J. (2001). *Manejo y Conservación de Suelos*. Costa Rica: EUNED.
- Ordoñez, J. (2012). *Cartilla técnica: Ciclo Hidrológico* (Primera ed.). (Z. Novoa, Ed.) Lima: Sociedad Geográfica de Lima. Obtenido de http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
- Oyarzún, C., Nahuelhual, L., & Nuñez, D. (2004). Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *REVISTA AMBIENTE Y DESARROLLO de CIPMA*, 88-95.
- Peralta, J. (1976). *Uso, Clasificación y Coservación de Suelos*. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Peralta, J. (2009). *Agentes Erosivos y Tipos de Erosión*. Temucoi, Chile: INIA Carillanca.
- Pérez, J., Valdés, E., Hernández, M., & Ordaz, V. (2005). Lluvia Escurrimiento Superficial y Erosión del Suelo en Sistemas Agroforestales de Caf´r Bajo Sombra. *AGROCIENCIA*; <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2005/jul-ago/art-5.pdf>, 39(4), 409-418.
- Pieri, C. (1995). Long-term management experiments in semi-arid Francophone Africa. *Soil management*, 225-226.
- Pizarro, R., & Cuitiño, H. (1999). *Evaluación cuantitativa de la erosión hidrica superficial en suelos desnudos de la pe- cordillera andina y valle central de la VII región*. Santiago, Chile: Programa Hidrológico Internacional, PHI de UNESCO.

- Prat, N., & Munne, A. (2011). Los ecosistemas acuáticos. En A. C. l'Aigua, & D. d. Habitatge, *Agua y cambio climático Diagnósis de los impactos previstos en Cataluña: Documentos del cambio climático* (págs. 209-256). Cataluña: Fundación Nueva cultura del Agua.
- Quiñónez Berganza, G. O. (2012). *La Degradación del Suelo por Erosión Hídrica en Cultivos de granos Básicos y Café en la Microcuenca de Torja, Cuenca del río Grande de Zacapa, Guatemala*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; CATIE.
- Quiroz, T., & Hincapie, E. (2007). Perdidas de Suelo por Erosión en Sistemas de Producción de Café con Cultivos Intercalados. (Cenicafé, Ed.) *CENICAFE*; <http://www.cenicafe.org/es/publications/arc058%2803%29227-235.pdf>, 58(3), 227-235.
- Quispe, V., Carvajal, M., & Ramírez, M. (2002). *Conocimiento campesino en la conservación de suelos Ayllus de Qhorga*. La Paz: Fundación PIEB.
- Ramirez, F. (2006). *Evaluación del Riesgo por erosión potencial de la Zona Cafetera Central del Departamento de Caldas*. Trabajo de Grado para optar al título de Ing. Forestal, Universidad del Tolima Facultad de Ingeniería Forestal, Ibagué. Obtenido de Universidad del Tolima Facultad de Ingeniería Forestal: http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_5981.pdf
- Ramirez, F. A., Hincapie, E., & Sadeghian, S. (2009). Erodabilidad de los Suelos de la Zona Central Cafetera del Departamento de Caldas. (Cenicafe, Ed.) *Cenicafé*, 60(1), 58-71.
- Ramirez, T. (2009). *Efectos de agroquímicos en las propiedades físico-químicas y biológicas en suelos del Táchira- Venezuela*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Rascon, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico*. UNAM .
- Ríos Ramirez, 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*. CATIE. Turrialba: Centro Agronómico

Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE
<http://www.sidalc.net/repdoc/A0742e/A0742e.pdf>. Obtenido de CATIE.

Rodriguez, J., Sepulveda, I., Camargo, J., & Galvis, J. (2009). Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona andina de Colombia. *Acta agronómica*, 58(3), 160-166.

Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. CSIC.

Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>

Rucks, I., García, F., Cplan, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Motevideo: Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía, Dpto. Suelos y Aguas.

Salas, C. (2011). *Coportamiento Hidrológico y Erosivo en Usos de Suelo Prioritarios de la Compañía Lechera en Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica*. Turrialba, Costarrica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE; http://biblioteca.catie.ac.cr:5151/repositoriomap/bitstream/123456789/215/1/Salas_Comp_ortamiento.pdf.

Salen, B. B. (2015). *Prevención y Control de la Erosión Eólica en las Regiones Áridas*. Recuperado el 22 de 01 de 2016, de FAO: <http://www.fao.org/docrep/u1510s/u1510s07.htm>

Sanchez, D., Pinilla, G., & Mancera, J. (2015). Efectos del uso del suelo en las propiedades edáficas y la escorrentía superficial en una cuenca de la orinoquia colombiana. *Revista Colombia Forestal*, 18(2), 255-272.

- Sanchez, M., & Sanchez, M. (1984). *Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo*. Sevilla: Instituto de recursos naturales y agrobiología.
- Sanclemente, E. (2011). *Curso Propiedades y contaminación del suelo*. (U. N. Distancia, Ed.) Obtenido de Lección8. Humedad, infiltración, permeabilidad, consistencia y profundidad efectiva del suelo: http://dateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_8_humedad_infiltracin_permeabilidad_consistencia_y_profundidad_efectiva_del_suelo.html
- Segener, C. D., & Villodas, R. (2006). *Hidrología I: Unidad 5 Las Precipitaciones*. Mendoza; Argentina, Argentina: Universidad Nacional el Cuyo, Facultad de Ingeniería Civil;<http://www.conosur-rirh.net/ADVF/documentos/hidro1.pdf>.
- Stocking, M., & Murnaghan, N. (2003). *Manual para la Evaluación de campo de la Degradación de la Tierra*. Barcelona: Ediciones Mundiprensa.
- Suarez, F., & Rodriguez, A. (1962). *Investigaciones sobre la Erosión y la Coservación de los Suelos en Colombia*. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros.
- Suárez, J. (2001). *Control de la erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Sullivan, P. (2007). *El manejo sostenible de suelos*. Estados Unidos: ATTRA.
- Taypanta, J. R. (Febrero de 1993). La Erosión hídrica: Proceso, Factores y Formas. *INIAP Boletín divulgativo*(229).
- Thompson, M., & Troeh, F. (1998). *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta ed.). Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Torres, E. A. (2000). *Evaluación de la Susceptibilidad a la Erosión y de las Características Asociadas (Infiltración y Escorrentía) de dos Suelos de Ladera en el Departamento del*

- Cauca, mediante un Minisilmulador de lluvia*. Cali: Universidad del Valle, Universidad Nacional del Colombia (Palmira), Facultad de Ingeniería, Plan de Ingeniería Agrícola.
- UNESCO. (2010). *Procesos de Erosión - Sedimentación en Cauces y Cuencas*. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC). Montevideo: Brea, José Daniel; Balocchi, Francisco.
- Universidad de Sevilla. (05 de Agosto de 2008). *Ingeniería Agroforestal: Curso Hidráulica y riegos*. Obtenido de Aspersores y distribución del agua sobre el suelo: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%209.%20Riego%20por%20asersion/page_06.htm/skinless_view
- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Obtenido de http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Valverde, J. (2007). *Riego y drenaje*. Costa Rica: Editorial Universidad Distrital a Distancia.
- Vega, M., & Febles, J. (2005). La investigación en Suelos Erosionados: Metodos e Indices de Diagnóstico. (I. S. Moa, Ed.) *Minería y Geología*, <http://www.redalyc.org/pdf/2235/223516049002.pdf>, 21(2), 18.
- Wei, W., Chen, L., Fu, B., Huang, Z., Wu, D., & Gui, L. (2007). The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area. *Journal of Hydrology*, 247-258.

ANEXOS

Anexo 1. Registros Históricos IDEAM valores totales mensuales de precipitación estación Cabrera

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)																	
Estación	21190090 IDEAM				Municipio				Cabrera				Departamento				
Latitud	359		N		Altura				1900 m.sn.m				Cundinamarca				
Longitud	7429		W														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL				
1966	13	14	33	19	62	91	31	46	34	37	31	20	431				
1967	13	30	85	172	107	101	58	33	62	122	157	81	1021				
1968	51	58	37	210	132	104	37	51	100	118	115	68	1081				
1969	67	50	44	99	151	86	34	58	85	210	103	61	1048				
1979	66	28	56	97	123	76	70	89	98,5	154,5	140	39	1037				
1971	144	71	154	153	204	124	88,5	114,5	122	223,5	212	124	1734,5				
1972	150	69	94	190	329	137	83	62	48	126	179	32	1499				
1973	9	8	104	84	109	111	90	113	143	134	104	82	1091				
1974	132	115	137	122	59	63	27	43	43	107	106	6	960				
1975	-	183	179	157	228	85,5	53,1	55	89	75	76	52	1232,6				
1976	-	86	138	105	53	83	23	26	91	142	88	35	870				
1977	3	35	97	124	88	85	38	47	116	155	145	50	983				
1978	21	47	138	184	169	86	54	58	103	263	-	61	1184				
1979	23	48	138	124,4	99	78	71	80	176	195	130	45	1207,4				
1980	70	55	18	148	96	98	49,7	68,4	58,1	90,6	101	50,2	903				
1981	-	50,7	34,6	89,9	142,5	74,3	29,8	49,3	26,4	100	141	38,5	777				
1982	68,2	61,1	126,9	241,5	148	43	60	20,1	34,3	43,7	118,6	81,5	1046,9				
1983	32,7	24,3	48,9	161,2	102,7	30,7	42,2	27,1	42,1	106,7	17,9	139	775,5				
1984	79,8	102,2	28,5	89,2	135,1	71,2	55	77,8	133,2	109,7	126,1	22,5	1030,3				
1985	82,2	21,1	64,9	129,8	74,3	44,3	46,6	64,9	87,6	178,3	130	5,5	929,5				
1986	35,1	97,9	55,3	115,8	63,3	63,9	18,2	31,1	66,1	253,9	76,7	15	892,3				
1987	30,5	25,9	62,7	76,7	105,6	35,1	78,9	33,7	77,9	131,4	73,1	26,9	758,4				
1988	27,4	48,1	26,3	110,3	51	82,9	56,3	120,1	55	71,7	126,7	87,6	863,4				
1989	20,7	69,4	108	71	116,5	40,7	44,1	50,1	90,5	66,5	55,6	56,5	789,6				
1990	33,8	53,2	46,3	85,5	62	14,7	25,6	24,8	45,7	117,6	78,5	54,8	642,5				
1991	6,3	23,3	189,5	58,1	72,9	21	53,9	23,5	11,1	65,3	105,8	56	686,7				
1992	23,7	17,6	38,5	64	14,1	15,8	52,5	36,4	54,4	39,1	102,1	83,5	541,7				
1993	66,2	65,9	87,8	156,6	114,4	30,4	30,6	34	54,5	46,4	132,2	23,1	842,1				
1994	48,8	62,4	137,5	204,4	113,8	41,15	31,2	29,3	44,9	105,3	113,7	21,5	953,95				
1995	8,9	30,3	50,9	160,4	103,9	58,7	44,6	126,9	42,8	125	65,9	53,1	871,4				

1996	92,3	52,9	94,6	29,1	95,9	61,7	79,9	60,5	41,7	94,9	103,9	50,5	857,9
1997	97,7	15,8	117,5	79,7	58,5	57,7	17,7	18,4	78,3	82,2	85,5	4,9	713,9
1998	4,4	67,6	89,4	51	159,7	35,8	66	39,2	62,5	79,3	158,9	72,7	886,5
1999	53,7	109,4	20,9	84,5	85,4	88,1	10,3	129,9	84,3	199	59,2	97	1021,7
2000	37,9	51,6	118,12	40,9	136,7	55,6	41,1	29,2	69,7	76,3	93,8	52,5	803,42
2001	13,3	29,9	56,8	22,5	121,7	16,7	48,7	25,8	124,5	100,6	50,9	77,8	689,2
2002	44	26,9	81,8	186,6	63,1	69,9	64,9	39,5	73,8	108,3	48,2	42	849
2003	14,1	62,2	125,6	132,1	18,2	62,2		30,1	83,8	57,6	66,9	28,6	681,4
2004	88,9	25,3	21,4	152,4	163,6	65,2	60,7	37	60,8	161,5	203,5	21,5	1061,8
2005	83,8	67,5	11,9	58,1	241,9	55	33,4	61,7	42,4	215,4	224,5	73,2	1168,8
2006	50,1	37,2	102,11	161,2	116,7	66,9	49,4	62	106,7	116,2	405,7	256,7	1530,91
2007	23,7	36,8	82,7	178,7	401,1	49,3	36,4	158,1	61,6	179	89,8	63,5	1360,7
2008	53,6	108,8	-	-	-	73	73	87,1	64,7	85,1	189,6	30,1	765
2009	42,6	50	97	69,8	59,9	60,3	49,9	24,4	66,6	161,2	176,9	14,1	872,7
2010	23,2	14,7	22,9	124,7	181,2	141,8	140	106,5	90	159,3	123,3	-	1127,6
2011	-	279,4	189	196,9	54,9	60,2	60	-	197,3	161,4	99,8	-	1298,9
2012	61,7	58,6	126,5	98,1	112,1	51,9	47,9	52,7	49,8	103,2	59	52,7	874,2
2013	117,8	65	62,3	117	-	59,5	31,1	74,9	44,9	111,2	121,8	70,3	875,8
2014	40,1	102,1	75,5	69,6	151,2	45,7	28,9	22,4	63,5	145,5	55,3	52,9	852,7
2015	31,8	51	147,9	71,9	26,9	22,7	16,7	14,6	35,9	91	70	79,1	659,5
PROM	50,02173 91	59,2 62	85,76591 84	116,8897 96	118,28 75	65,5 11	49,64897 96	56,46938 776	74,7 58	124,0 28	115,048 98	56,48541 67	952,7076

Anexo 2. Uso productivo del suelo en la Finca El Roble

INFORMACIÓN ECONOMICO-PRODUCTIVA

FORMATO 7: USO PRODUCTIVO DEL SUELO

Lote No.	Área (ha)	Descripción cultivo actual	Tipo de maquinaria empleada		Tipo de insumos usados		Tipo de Semillas usadas	
			Labor	Tipo Maquinaria.	Nombre	Tipo ³⁰	Nombre	Procedencia ³¹
1	29912	Potreros	Limpieza	Guadalupe				
2	11,75	Potreros	Limpieza	Guadalupe	Iberventina Velamir Suero Calvo	Vacunas Purga Vitamina Suero Suplemento		
3	3,5	Arbuzo mora Frijol Wilo Tomate	Poda desyerbe Fungicid	Tijeras Guadalupe Bomba españa	Calixto Triunfo Escorpe Eca Dactone CENTRO	Calixin 102020 Dac Agrimus col	Abono Plaguicidas	• Externo • semilla de los vecinos.
4	9002	hoerba.						
TOTAL	18,242							

³⁰ Abono químico, abono orgánico, bio-fertilizante natural, herbicida, insecticida, fungicida, hidrolato, otros..

³¹ Propia finca, vecinos, almacén agropecuario.

Anexo 3. Uso productivo del suelo en la finca El Triunfo

INFORMACIÓN ECONOMICO-PRODUCTIVA

FORMATO 7: USO PRODUCTIVO DEL SUELO

Lote No.	Área (ha)	Descripción cultivo actual	Tipo de maquinaria empleada		Tipo de insumos usados		Tipo de Semillas usadas	
			Labor	Tipo Maquinaria.	Nombre	Tipo ³⁰	Nombre	Procedencia ³¹
1	0.06	Hogar y Huerta Organicampo.	Deshier y Arado.	Pica y asador.	Abono Organi- campo.	Organico.	Alm. agropecuario.	- Propia Finca. - Almacén Agropecuaria.
2	0.8	Potrero, mananera zona de conserva- ción						
3	1.7	Potrero.						
4	2.5	Potrero.						
5	1.4	Mono cultivo de curuba.	Desyerbe.	Guadaña.	Abono Dack Abono 10 20 20 Fungicida exal. Vertimec Buxal.	Fertilizante químico Abono químico insecticida. Fertilizante.	Curuba.	Propia Finca.
6	1.5	cultivo de curuba y Agro- forestal. Huerta organica. Policultivo.	Desyerbe	Guadaña.	Abono Dack. Abono 10 20 20 Fungicida exal. Vertimec. Buxal.	Fertilizante quim - Abono químico - Insecticida - Fertilizante	Curuba.	Propia Finca. Almacén Agropecuaria.
TOTAL								

³⁰ Abono químico, abono orgánico, bio-fertilizante natural, herbicida, insecticida, fungicida, hidrolato, otros...

³¹ Propia finca, vecinos, almacén agropecuario.

Anexo 4. Uso productivo del suelo en la finca La Libertad

FORMATO 7: USO PRODUCTIVO DEL SUELO

Lote No.	Área (ha)	Descripción cultivo actual	Tipo de maquinaria empleada		Tipo de insumos usados		Tipo de Semillas usadas	
			Labor	Tipo Maquinaria.	Nombre	Tipo ³⁰	Nombre	Procedencia ³¹
1	0,9903	Potrero - Vivienda Gallinas - Ganado Cabrillo	Limpieza potrero	Guadaña				
2	2,26	Granadilla Cebolla	Fungar limpieza Plateo	Bomba estación Guadaña Arado	Vertimec Avelar. Cu Balgamente Ceniza Cantón 102020-Agramis-K	Plaguicida Fertilizante		Nivero ext. Propia Finca
3	0,6	Potrero SUP Bosque Conserv.	Limpieza	Guadaña				
4	0,09	Potrero SUP Bosque Conserv.	Limpieza	Guadaña				
5	0,96	Potrero SUP Bosque Conserv.	Limpieza	Guadaña				
6	2,15	Potrero SUP Bosque Conserv.	Limpieza	Guadaña				
7	0,8	Curuba maíz maíz Frijol	Fungar limpieza Plateo	Bomba estación Guadaña Arado	Vertimec 102020 Balgamente Fertilizante Triunfo Agramis K Dual topografía	Plaguicidas Fertilizantes		Nivero externo Propia Finca
TOTAL	7,8503							

³⁰ Abono químico, abono orgánico, bio-fertilizante natural, herbicida, insecticida, fungicida, hidrolato, otros...

³¹ Propia finca, vecinos, almacén agropecuario.

Anexo 5. Formato de entrevista semiestructurada para el uso y manejo de suelos**Entrevista semiestructurada**

Con esta entrevista se quiere conocer las prácticas, aplicaciones e historial del terreno en la finca de estudio ubicado en la vereda Santa Marta, Cabrera el cual es pertinente conocer debido a su relación con la erosión hídrica en el suelo.

1. ¿Qué cultivos se han sembrado en el terreno anteriormente?
2. ¿Qué tipo de insumos y fertilizantes aplica orgánicos o químicos?, ¿Cuáles son?
3. ¿La aplicación de los insumos se hace de manera frecuente?
4. ¿Qué prácticas y herramientas se utilizan para la preparación del suelo azadón, pica, barra, pala, tractor, yunta de bueyes, otras?
5. ¿Qué actividades de mantenimiento se hacen en el cultivo y en el suelo (podas, aplicaciones de insumos, aporque otros)? ¿Con qué implementos?
6. ¿Cuánto tiempo lleva establecido el arreglo actual del sistema?
7. ¿Qué tipo de intervenciones se realizan en el caso específico del bosque por ejemplo: recolección de hojarasca, tala, pastoreo de animales?
8. ¿Se realizan prácticas como la rotación de cultivos o períodos de descanso?

Anexo 6. Ubicación de batería de infiltrómetros**Anexo 7. Procedimiento para el cálculo de densidades**

Anexo 8. Análisis de probabilidad de precipitación máxima en 24 horas

No	Año	Precipitación	Precipitación de mayor a menor	Análisis de probabilidad.
1	1966	25	105,1	0,02
2	1967	50	103,5	0,04
3	1968	41	89	0,06
4	1969	35	62,4	0,08
5	1970	46	61,2	0,1
6	1971	53	60	0,12
7	1972	49	54	0,14
8	1973	32	53,3	0,16
9	1974	35	53	0,18
10	1975	34	51,6	0,2
11	1976	42	50	0,22
12	1977	37	50	0,24
13	1978	89	49	0,26
14	1979	50	48,8	0,28
15	1980	60	47,5	0,3
16	1981	30	46	0,32
17	1982	30	43	0,34
18	1983	39	42	0,36
19	1984	31,3	41,5	0,38
20	1985	39,5	41	0,4
21	1986	35	39,5	0,42
22	1987	29,3	39,5	0,44
23	1988	28,2	39	0,46
24	1989	27,7	39	0,48
25	1990	35,7	37	0,5
26	1991	32,9	36,4	0,52
27	1992	22,6	35,7	0,54
28	1993	62,4	35,4	0,56
29	1994	61,2	35	0,58
30	1995	30,5	35	0,6
31	1996	34,7	35	0,62
32	1997	47,5	34,7	0,64
33	1998	53,3	34	0,66
34	1999	41,5	32,9	0,68
35	2000	30,5	32	0,7
36	2001	51,6	31,3	0,72
37	2002	30,2	30,5	0,74
38	2003	48,8	30,5	0,76
39	2004	54	30,2	0,78
40	2005	35,4	30	0,8
41	2006	103,5	30	0,82
42	2007	105,1	30	0,84
43	2008	28,2	29,3	0,86
44	2009	39,5	28,2	0,88
45	2010	22,1	28,2	0,9
46	2011	43	27,7	0,92
47	2012	30	25	0,94
48	2013	36,4	22,6	0,96
49	2014	39	22,1	0,98

Anexo 9. Registros Finca El Triunfo

FINCA EL TRIUNFO PROPIETARIO: CARMEN PRIETO									
SEMANA	SISTEMA	PRECIPITACIÓN (mm)	Nº DE DÍAS LLUVIA	ESCORRENTÍA EN LA PARCELA (Lts)	EROSIÓN EN LA PARCELA (kg)	ESTIMACIÓN EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA TOTAL (mm)	%AE	ACP (Lts)
29 (11Jul- 16 Jul)	CPAS	22	4	0	0	0	0	0	539
	CBOS	16	4	0	0	0	0	0	392
	CCUL	22	4	0	0	0	0	0	539
30 (17 Jul- 23 Jul)	CPAS	24	6	0	0	0	0	0	588
	CBOS	18	6	0,026	0,00007	0,028571429	0,106122449	0,0059	441
	CCUL	26	6	0,175	0,00008	0,032653061	0,714285714	0,02747	637
31 (24 Jul- 30 Jul)	CPAS	48	5	0	0	0	0	0	1176
	CBOS	27	5	0	0	0	0	0	661,5
	CCUL	40,5	6	0	0	0	0	0	992,25
32 (31 Jul- 06 Ago)	CPAS	35	5	0,039	0,00015	0,06122449	0,159183673	0,00455	857,5
	CBOS	32	5	0,0285	0,00003	0,012244898	0,116326531	0,00364	784
	CCUL	36	5	0	0	0	0	0	882
33 (07 Ago-13 Ago)	CPAS	22	3	0,0225	0,0001	0,040816327	0,091836735	0,00417	539
	CBOS	22	3	0	0	0	0	0	539
	CCUL	18	3	0	0	0	0	0	441
34 (14 Ago-20 Ago)	CPAS	11	1	0	0	0	0	0	269,5
	CBOS	20	1	0,0735	0,00006	0,024489796	0,3	0,015	490
	CCUL	22	1	0	0	0	0	0	539
35 (21 Ago- 27 Ago)	CPAS	8	2	0	0	0	0	0	196
	CBOS	6	2	0	0	0	0	0	147
	CCUL	12	2	0	0	0	0	0	294
36 (28 Ago- 03 Sep)	CPAS	32	3	0	0	0	0	0	784
	CBOS	18	3	0	0	0	0	0	441
	CCUL	26	2	0	0	0	0	0	637
37 (04 Sep- 10 Sep)	CPAS	44	5	0,41	0,000000943	0,000384898	1,673469388	0,03803	1078
	CBOS	33	5	0	0	0	0	0	808,5
	CCUL	48	5	0	0	0	0	0	1176
38 (11 Sep- 17 Sep)	CPAS	62	6	0,126	0,00037	0,151020408	0,514285714	0,00829	1519
	CBOS	56	7	0,0565	0,00007	0,028571429	0,230612245	0,00412	1372
	CCUL	68	6	0	0	0	0	0	1666
39 (18 Sep-24 Sep)	CPAS	26	3	0	0	0	0	0	637
	CBOS	24	3	0	0	0	0	0	588
	CCUL	24	3	0	0	0	0	0	588
40 (25 Sep- 01 Oct)	CPAS	28	2	0,168	0,00003	0,012244898	0,685714286	0,02449	686
	CBOS	26	2	0,26	0,000026	0,010612245	0	0	637
	CCUL	30	2	0	0	0	0	0	735
41 (02 Oct- 08 Oct)	CPAS	74	6	0,0245	0,00013	0,053061224	0,1	0,00135	1813
	CBOS	48	6	0	0	0	0	0	1176
	CCUL	76	6	0	0	0	0	0	1862
42 (09 Oct- 15 Oct)	CPAS	26	5	0	0	0	0	0	637
	CBOS	10	5	0	0	0	0	0	245
	CCUL	31	6	0,08	0,00008	0,032653061	0,326530612	0,01053	759,5

43 (16 Oct-22 Oct)	CPAS	32	3	0,205	0,00015375	0,062755102	0,836734694	0,02615	784
	CBOS	22	3	0,158	0,00003	0,012244898	0,644897959	0,02931	539
	CCUL	36	3	0,215	0,0018275	0,745918367	0,87755102	0,02438	882
44 (23 Oct-29 Oct)	CPAS	40	4	0,35	0,000105	0,042857143	1,428571429	0,03571	980
	CBOS	21	3	0,173	0,00003	0,012244898	0,706122449	0,03362	514,5
	CCUL	90	4	1,19	0,003927	1,602857143	4,857142857	0,05397	2205
45 (30 Oct-05 Nov)	CPAS	39	3	0,098	0,00002	0,008163265	0,4	0,01026	955,5
	CBOS	37	3	0,04	0,00002	0,008163265	0,163265306	0,00441	906,5
	CCUL	52	3	0,4	0,00096	0,391836735	1,632653061	0,0314	1274
46 (06 Nov-12 Nov)	CPAS	44	6	0,076	0,00009	0,036734694	0,310204082	0,00705	1078
	CBOS	30	6	0,132	0,00004	0,016326531	0,53877551	0,01796	735
	CCUL	45	6	0	0	0	0	0	1102,5
47 (13 Nov-19 Nov)	CPAS	34	3	0,182	0,00016	0,065306122	0,742857143	0,02185	833
	CBOS	28	3	0,088	0,00005	0,020408163	0,359183673	0,01283	686
	CCUL	41	4	0	0	0	0	0	1004,5
48 (20 Nov-26 Nov)	CPAS	32	4	0,019	0,00008	0,032653061	0,07755102	0,00242	784
	CBOS	25	4	0,049	0,00005	0,020408163	0,2	0,008	612,5
	CCUL	27	4	0,083	0,00069	0,281632653	0,33877551	0,01255	661,5

Anexo 10. Registros finca La Libertad

FINCA LOTE 2 LA LIBERTAD PROPIETARIO: NELSON SIERRA

SEMANA	SISTEMA	PRECIPITACIÓN (mm)	Nº DE DÍAS LLUVIA	ESCORRENTÍA EN LA PARCELA (Lts)	EROSIÓN EN LA PARCELA (kg)	ESTIMACIÓN EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA TOTAL (mm)	%AE	ACP (Lts)
29 (11Jul-16 Jul)	NPAS	22	4	0	0	0	0	0	539
	NBOS	16	4	0	0	0	0	0	392
	NCUL	22	4	0	0	0	0	0	539
30 (17 Jul-23 Jul)	NPAS	26	6	0,091	0,0001	0,040816327	0,371428571	0,01429	637
	NBOS	16	5	0,025	0,00003	0,012244898	0,102040816	0,00638	392
	NCUL	24	6	0	0	0	0	0	588
31 (24 Jul-30 Jul)	NPAS	44	5	0	0	0	0	0	1078
	NBOS	46	5	0,015	0,00006	0,024489796	0,06122449	0,00133	1127
	NCUL	40	6	0	0	0	0	0	980
32 (31 Jul-06 Ago)	NPAS	38	5	0	0	0	0	0	931
	NBOS	23,5	5	0	0	0	0	0	575,75
	NCUL	38	5	0,0065	0,00001	0,004081633	0,026530612	0,0007	931
33 (07 Ago-13 Ago)	NPAS	22	3	0	0	0	0	0	539
	NBOS	9	2	0	0	0	0	0	220,5
	NCUL	28	3	0,006	0,00007	0,028571429	0,024489796	0,00087	686
34 (14 Ago-20 Ago)	NPAS	11	1	0	0	0	0	0	269,5
	NBOS	21	1	0,0665	0,00002	0,008163265	0,271428571	0,01293	514,5
	NCUL	22	1	0,0435	0,00012	0,048979592	0,17755102	0,00807	539
35 (21 Ago-27 Ago)	NPAS	8	2	0	0	0	0	0	196
	NBOS	5	2	0	0	0	0	0	122,5
	NCUL	8	2	0	0	0	0	0	196

36 (28 Ago- 03 Sep)	NPAS	30	3	0	0	0	0	0	735
	NBOS	14	3	0	0	0	0	0	343
	NCUL	34	3	0,0135	0,00012	0,048979592	0,055102041	0,00162	833
37 (04 Sep- 10 Sep)	NPAS	47	5	0,031	0,00019	0,07755102	0,126530612	0,00269	1151,5
	NBOS	27	5	0,025	0,00013	0,053061224	0,102040816	0,00378	661,5
	NCUL	44	5	0,026	0,00003	0,012244898	0,106122449	0,00241	1078
38 (11 Sep- 17 Sep)	NPAS	57	7	0,06	0,00013	0,053061224	0,244897959	0,0043	1396,5
	NBOS	55	7	0,017	0,00001	0,004081633	0,069387755	0,00126	1347,5
	NCUL	62	7	0	0	0	0	0	1519
39 (18 Sep-24 Sep)	NPAS	26	3	0,008	0,00003	0,012244898	0,032653061	0,00126	637
	NBOS	22	3	0	0	0	0	0	539
	NCUL	26	3	0,035	0,00004	0,016326531	0,142857143	0,00549	637
40 (25 Sep- 01 Oct)	NPAS	30	2	0,0663	0,00007	0,028571429	0,270612245	0,00902	735
	NBOS	17	2	0,0275	0,00002	0,008163265	0,112244898	0,0066	416,5
	NCUL	26	2	0,125	0,00003	0,012244898	0,510204082	0,01962	637
41 (02 Oct- 08 Oct)	NPAS	76	7	0,03	0,00005	0,020408163	0,12244898	0,00161	1862
	NBOS	66	6	0,016	0,00002	0,008163265	0,065306122	0,00099	1617
	NCUL	76	6	0	0	0	0	0	1862
42 (09 Oct- 15 Oct)	NPAS	27	6	0	0	0	0	0	661,5
	NBOS	16	5	0	0	0	0	0	392
	NCUL	32	6	0	0	0	0	0	784
43 (16 Oct- 22 Oct)	NPAS	34	3	0,03	0,00009	0,036734694	0,12244898	0,0036	833
	NBOS	25	3	0,026	0,00004	0,016326531	0,106122449	0,00424	612,5
	NCUL	36	3	0,028	0,00006	0,024489796	0,114285714	0,00317	882
44 (23 Oct- 29 Oct)	NPAS	36	4	0,054	0,00011	0,044897959	0,220408163	0,00612	882
	NBOS	24	4	0,036	0,00007	0,028571429	0,146938776	0,00612	588
	NCUL	38	4	0,0735	0,00019	0,07755102	0,3	0,00789	931
45 (30 Oct-05 Nov)	NPAS	38	3	0,054	0,00004	0,016326531	0,220408163	0,0058	931
	NBOS	25	3	0	0	0	0	0	612,5
	NCUL	38	3	0	0	0	0	0	931
46 (06 Nov-12 Nov)	NPAS	41	6	0,054	0,00007	0,028571429	0,220408163	0,00538	1004,5
	NBOS	29	6	0,032	0,00003	0,012244898	0,130612245	0,0045	710,5
	NCUL	43	6	0,068	0,00009	0,036734694	0,27755102	0,00645	1053,5
47 (13 Nov-19 Nov)	NPAS	36	3	0,023	0,00003	0,012244898	0,093877551	0,00261	882
	NBOS	26	3	0,018	0,00004	0,016326531	0,073469388	0,00283	637
	NCUL	36	3	0,02	0,00001	0,004081633	0,081632653	0,00227	882
48 (20 Nov-26 Nov)	NPAS	32	4	0	0	0	0	0	784
	NBOS	20	4	0,015	0,00004	0,016326531	0,06122449	0,00306	490
	NCUL	35	4	0,6	0,00006	0,024489796	2,448979592	0,06997	857,5

Anexo 11. Registros finca El Roble

FINCA EL ROBLE PROPIETARIO: MILENA PINEDA									
SEMANA	SISTEMA	PRECIPITACIÓN (mm)	N° DE DÍAS LLUVIA	ESCORRENTÍA EN LA PARCELA (Lts)	EROSIÓN EN LA PARCELA (kg)	ESTIMACIÓN EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA TOTAL (mm)	%AE	ACP (Lts)
29 (11Jul- 16 Jul)	MPAS	22	3	0	0	0	0	0	539
	MBOS	14	3	0	0	0	0	0	343
	MCUL	12	3	0,35	0,0005425	0,221428571	1,428571429	0,11905	294
30 (17 Jul- 23 Jul)	MPAS	21	5	0	0	0	0	0	514,5
	MBOS	15	5	11	0,0066	2,693877551	44,89795918	2,9932	367,5
	MCUL	22	4	0,535	0,000214	0,087346939	2,183673469	0,09926	539
31 (24 Jul- 30 Jul)	MPAS	44	5	0	0	0	0	0	1078
	MBOS	28	5	0	0	0	0	0	686
	MCUL	36,6	5	0,72	0,00396	1,616326531	2,93877551	0,08029	896,7
32 (31 Jul- 06 Ago)	MPAS	44	6	0	0	0	0	0	1078
	MBOS	40	6	0	0	0	0	0	980
	MCUL	50	6	0,3	0,000045	0,018367347	1,224489796	0,02449	1225
33 (07 Ago-13 Ago)	MPAS	22	3	0	0	0	0	0	539
	MBOS	12	4	0	0	0	0	0	294
	MCUL	10	3	0,85	0,0044625	1,821428571	3,469387755	0,34694	245
34 (14 Ago-20 Ago)	MPAS	22	2	0	0	0	0	0	539
	MBOS	12	2	0,0925	0,00007	0,028571429	0,37755102	0,03146	294
	MCUL	22	2	0,8	0,00416	1,697959184	3,265306122	0,14842	539
35 (21 Ago- 27 Ago)	MPAS	4	2	0	0	0	0	0	98
	MBOS	4	1	0	0	0	0	0	98
	MCUL	0	0	0,262	0,0000262	0,010693878	#¡DIV/0!	#####	0
36 (28 Ago- 03 Sep)	MPAS	20	2	0	0	0	0	0	490
	MBOS	6	2	0	0	0	0	0	147
	MCUL	8	2	1	0,00015	0,06122449	4,081632653	0,5102	196
37 (04 Sep- 10 Sep)	MPAS	48	6	0	0	0	0	0	1176
	MBOS	30	6	0	0	0	0	0	735
	MCUL	38	6	0	0	0	0	0	931
38 (11 Sep- 17 Sep)	MPAS	50	6	0	0	0	0	0	1225
	MBOS	64	6	0,985	0,00054175	0,221122449	4,020408163	0,06282	1568
	MCUL	38	6	1,6	0,00128	0,52244898	6,530612245	0,17186	931
39 (18 Sep-24 Sep)	MPAS	12	3	0	0	0	0	0	294
	MBOS	2	1	0	0	0	0	0	49
	MCUL	8	2	0	0	0	0	0	196
40 (25 Sep- 01 Oct)	MPAS	16	3	0	0	0	0	0	392
	MBOS	0	0	0	0	0	0	0	0
	MCUL	0	0	2,9	0,028275	11,54081633	#¡DIV/0!	#####	0
41 (02 Oct- 08 Oct)	MPAS	68	5	0	0	0	0	0	1666
	MBOS	68	4	0	0	0	0	0	1666
	MCUL	62	4	1,4	0,0014	0,571428571	5,714285714	0,09217	1519
42 (09 Oct- 15 Oct)	MPAS	15	5	0	0	0	0	0	367,5
	MBOS	8	3	0	0	0	0	0	196
	MCUL	15	5	0,5	0,0009	0,367346939	2,040816327	0,13605	367,5
	MPAS	24	3	0	0	0	0	0	588
	MBOS	46	3	3,7	0,00111	0,453061224	15,10204082	0,32831	1127

43 (16 Oct-22 Oct)	MCUL	24	2	0,3	0,00045	0,183673469	1,224489796	0,05102	588
44 (23 Oct-29 Oct)	MPAS	46	7	0	0	0	0	0	1127
	MBOS	48	6	9,2	0,00322	1,314285714	37,55102041	0,78231	1176
	MCUL	34	5	0,073	0,00005	0,020408163	0,297959184	0,00876	833
45 (30 Oct-05 Nov)	MPAS	46	5	0	0	0	0	0	1127
	MBOS	34	5	0	0	0	0	0	833
	MCUL	38	5	0,048	0,00003	0,012244898	0,195918367	0,00516	931
46 (06 Nov-12 Nov)	MPAS	48	6	0	0	0	0	0	1176
	MBOS	44	6	0,016	0,00002	0,008163265	0,065306122	0,00148	1078
	MCUL	30	6	1,6	0,00168	0,685714286	6,530612245	0,21769	735
47 (13 Nov-19 Nov)	MPAS	40	4	0	0	0	0	0	980
	MBOS	20	4	0,01	0,00003	0,012244898	0,040816327	0,00204	490
	MCUL	30	4	1,5	0,00045	0,183673469	6,12244898	0,20408	735
48 (20 Nov-26 Nov)	MPAS	24	5	0	0	0	0	0	588
	MBOS	16	5	0	0	0	0	0	392
	MCUL	14	5	0,84	0,000005418	0,002211429	3,428571429	0,2449	343



UNIMINUTO
Corporación Universitaria Minuto de Dios
Educación de Calidad al alcance de todos



EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y ESCORRENTÍA EN TRES SISTEMAS PRODUCTIVOS PARA UN MANEJO SOSTENIBLE DEL SUELO EN LA VEREDA SANTA MARTA, CABRERA, CUNDINAMARCA.

Autores

Viviana Lisbeth Gutiérrez Pajarito
Pedro Luis Pinzón Rojas

Director:

Mario De Jesús Molano Cogua
I.A. M.Sc. Riego y Drenaje

Codirector:

Alvaro Acevedo Ósorio
I. A. PhD Agroecología

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE AGROECOLOGÍA
BOGOTÁ D.C 2017

Capítulo 1. Problemática

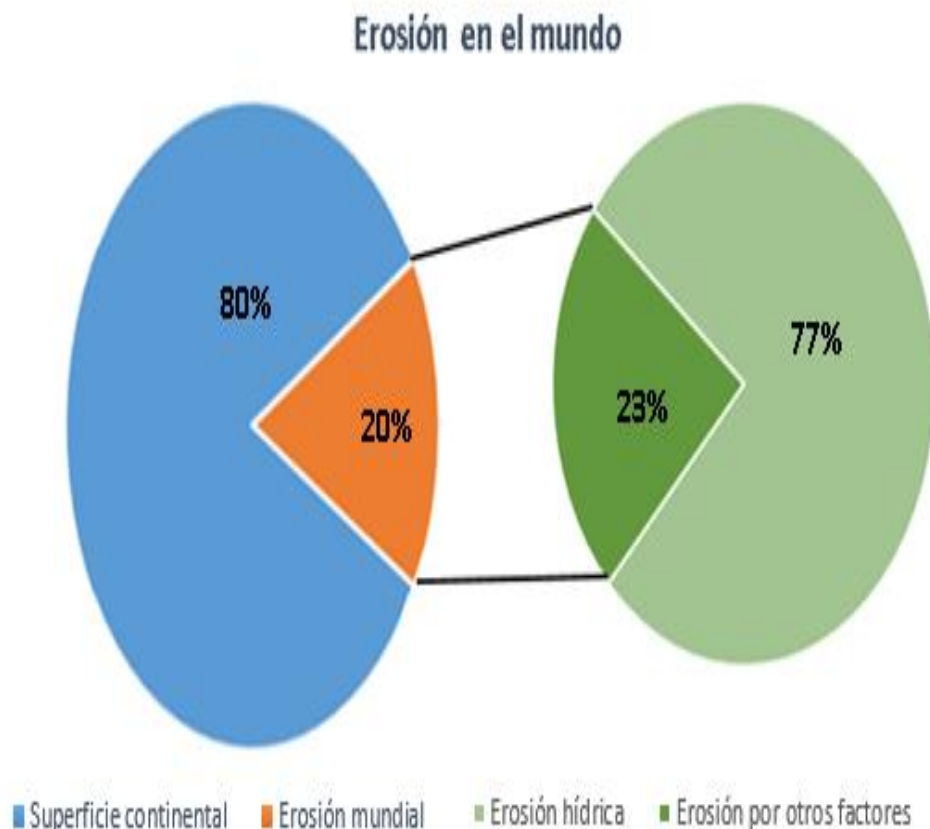
Capítulo 2. Marco referencial

Capítulo 3. Metodología

Capítulo 4. Análisis de resultados

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Problema



Fuente: Autores (2017) a partir de (FAO,2003); (Bautista & Palacios,2005)

- SC: 130 millones de km²
- Erosión: 26 millones de km²
- Entre 25 y 40 millones de ton/suelo/año
- Erosión hídrica en algún grado más del **50%** de la superficie nacional (IGAC; IDEAM; MAVDT,2010).
- Tasa de erosión: **1,8 ton/km²/año** el doble del promedio para América del Sur (IGAC; IDEAM; MAVDT, 2010).

Problema

¿Cuál es la cantidad comparativa de suelo perdido por erosión hídrica en sistemas de pradera, áreas arborizadas y cultivos en la Vereda Santa Marta, Zona de Reserva Campesina de Cabrera Cundinamarca?

Justificación

Ambiental

- Suelo como un bien (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).
- Región Andina 80% erosión (Torres, 2000)
- Cabrera riesgo de erosión de baja a remoción en masa (Alcaldía Municipal de Cabrera Cundinamarca, 2012)

Social

- Riesgo para la seguridad alimentaria.
- Necesidad de involucrar a los agricultores en la comprensión del problema.
- 4,9% prácticas de conservación y coberturas (DANE, 2014)

Económica

- Disminución en la productividad (MINAMBIENTE, 2004).

Objetivos

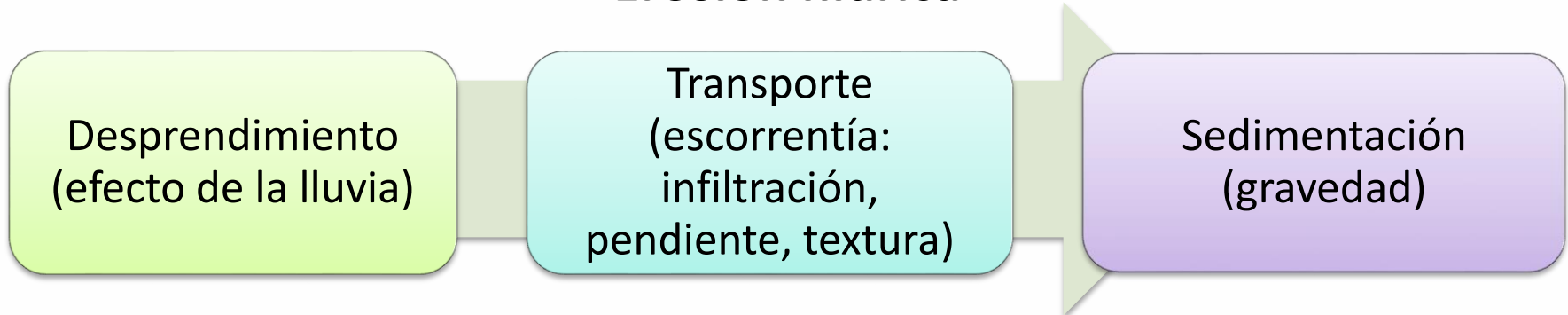
Objetivo general

- Realizar un análisis comparativo de la escorrentía y la erosión hídrica en tres sistemas productivos: pradera, área arborizada y cultivos, en el municipio de Cabrera para recomendar estrategias de manejo sostenible de suelos.

Objetivos Específicos

- Determinar el impacto de la precipitación en la pérdida de suelo y escorrentía en cada uno de los sistemas productivos, mediante el uso de parcelas de escorrentía.
- Asociar la escorrentía y la erosión hídrica frente a las propiedades físicas del suelo caracterizadas.

Erosión hídrica



FAO (2003) ; Meyer & Harmon (1984) ; Taypanta (1993); Hudson (2006).

Tipos

- Laminar (Mintegui & López, 1990).
- Surcos (Suarez & Rodríguez, 1962).
- Cárcavas (Honorato, 2000).

Modelos de evaluación

- Cartografías (Honorato, 2000).
- Parcelas de escorrentía (López, 2004); (Peralta, 1976)
- Parcelas con clavos de erosión (Pizarro & Cuitiño, 1999).

Factores asociados a erosión hídrica

Pendiente

UNESCO(2010); Núñez (2001);Almorox, López, & Rafaelli (2010); Taypanta (1993)

Prácticas de

manejo Taypanta (1993);Cadena, Egas, Ruiz, Mosquera, & Benavides (2012);Ramírez (2009)

Cobertura vegetal

UNESCO (2010); Flores (1993);Suárez (2001);Moreno, y otros (2011).

EROSIÓN HÍDRICA

Propiedades físicas

Stocking & Murnaghan (2003); Jaramillo (2002);González, Iglesias, & Herrera (2009)

Parámetros hídricos

Valverde (2007); Gol (2009); Sanclemente (2011), Universidad de Sevilla (2008),Suárez (2001).

Tipo de investigación

- Experimental cuantitativa (Barragán, y otros, 2001);(Gómez, 2006)

Hipótesis

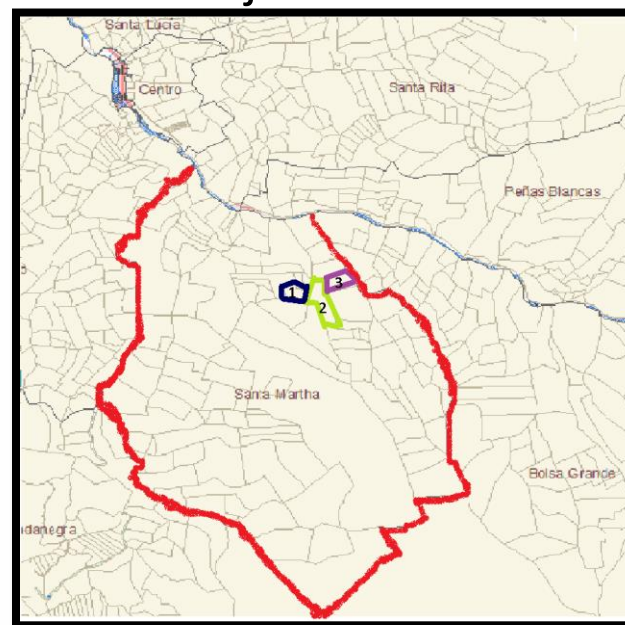
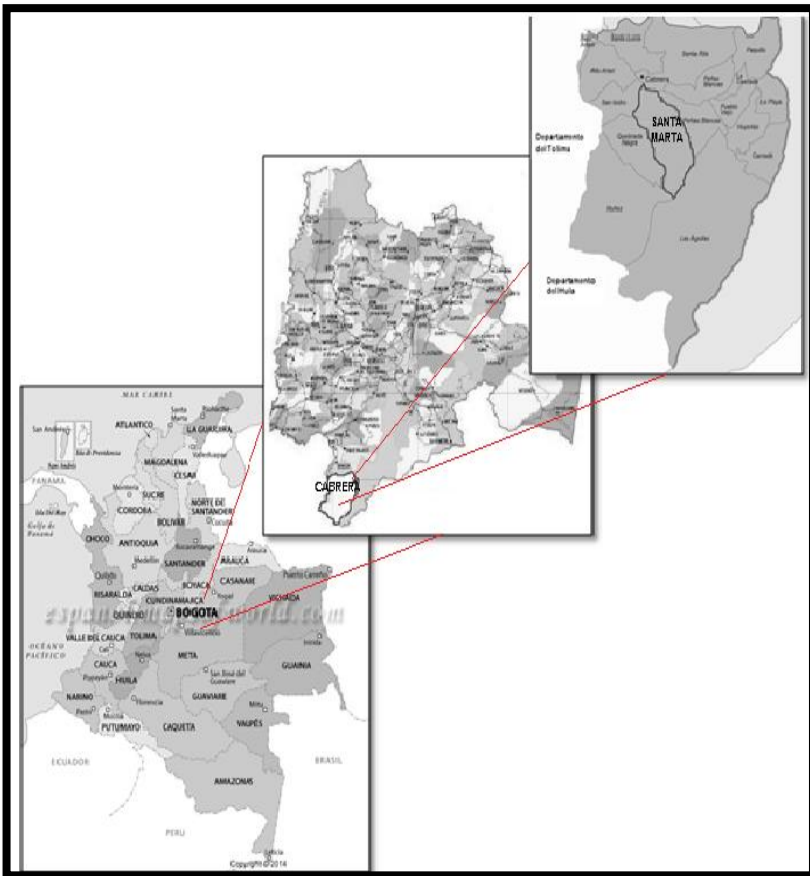
- Los suelos de áreas arborizadas tendrán menor erosión y escorrentía debido a que sus propiedades físicas se encontrarán en un mejor estado de acuerdo a la cobertura presente y a una menor intervención antropogénica; en los sistemas de pradera se encontrará una mayor compactación por ende mayor escorrentía y en los cultivos un mayor impacto por erosión hídrica y un mayor deterioro en todas las propiedades evaluadas respecto a los otros sistemas

Diseño experimental

- Diseño en bloques completamente aleatorizados

Descripción del área de estudio

- Provincia del Sumapaz
- Altitud: 2.560msnm
- Temperatura: 14°C
- Precipitación : 964,6mm
- Zona de vida de Holdridge: bosque seco montano bajo



El triunfo



La libertad



El Roble



Fuente: Autores (2017)

Fase I. Selección, caracterización de las fincas y montaje de parcelas experimentales

Caracterización multidimensional de la Agricultura familiar en la Zona de Reserva Campesina de Cabrera- Cundinamarca como aporte a la construcción de políticas públicas para la agricultura familiar en Colombia (2015)

- Integración de los sistemas: área arborizada , pradera, cultivo
- Pendiente: 24-28%
- Cobertura
- Parcelas: área de **24,5 m²** (con dimensiones de **3,5x7 m**)



Fuente: Autores (2017)



Fuente: Autores (2017)

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos



Fuente: Autores (2016)



Fuente: Autores (2016)

Infiltración

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos



Fuente: Autores (2016)

Densidad aparente



Fuente: Autores (2016)

Densidad real



Fuente: Autores (2016)

Compactación

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos



Fuente: Autores (2016)

Precipitación



Fuente: Autores (2016)

Escorrentía



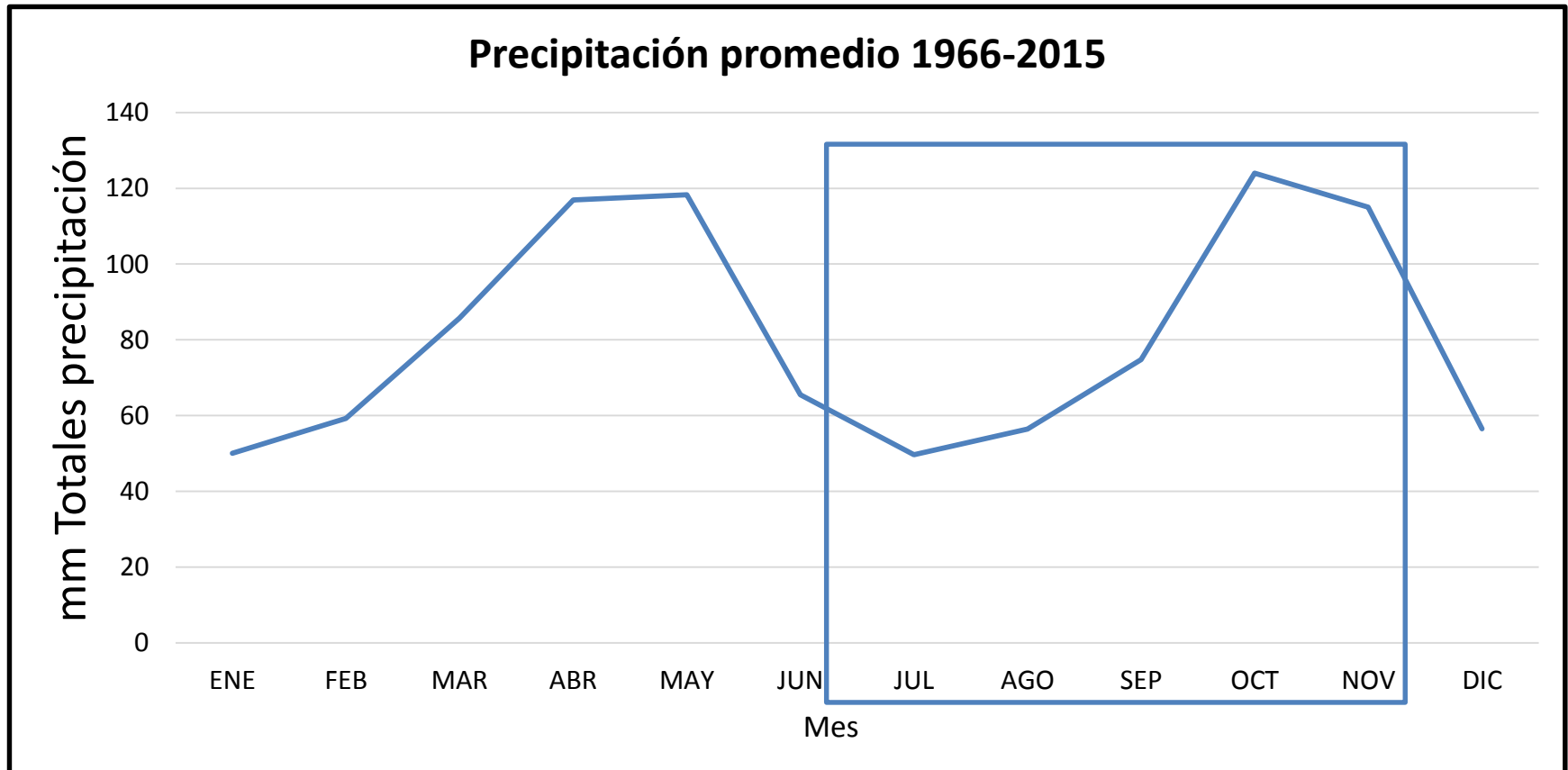
Fuente: Autores (2016)

Erosión

Fase I. Selección, caracterización de las fincas y montaje de parcelas

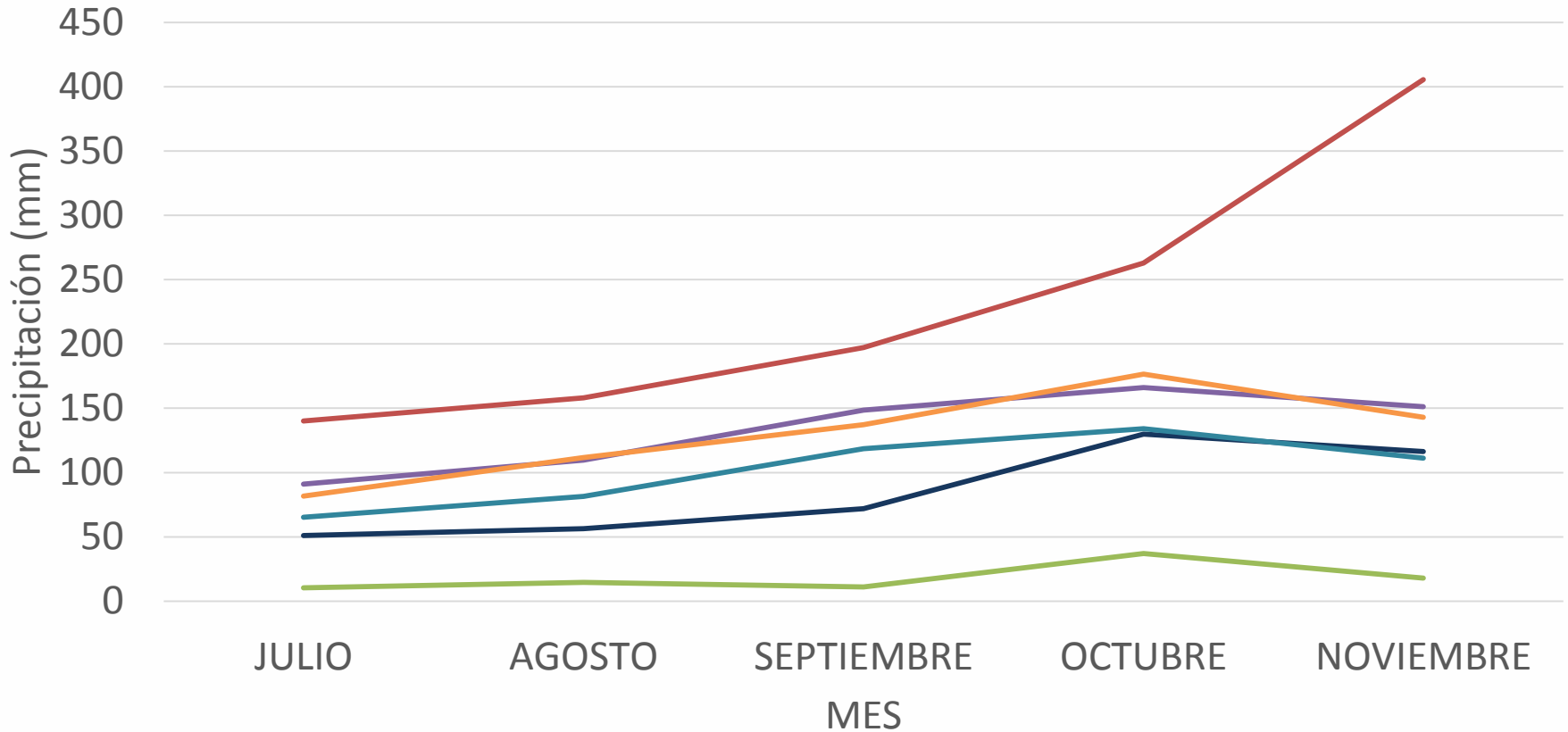
NOMBRE DE LA FINCA	SISTEMA	CULTIVOS ANTERIORES	MECANIZACIÓN	FERTILIZACIÓN			INSUMOS			PERÍODOS DE DESCANSO	PODAS	DESHIERVES	OBSERVACIONES
				QUÍMICA	ORGÁNICA	HERBICIDAS	FUNGICIDAS	INSECTICIDAS					
La Libertad	Cultivo	Inicialmente pastoreo. Frijol, tomate, frijol, lula, frijol, granadilla y actualmente maíz.	Bueyes y azadón.	Estiércol de ganado	Triple 15 y 10-20-20	Glifosol	Manzate	Furadan, Decis	20 años cultivando sin descansos.	Manual	Manual (con azadón y guadaña); química.	Durante la época de estudio se acabó el cultivo de granadilla y se sembró maíz.	
	Área arborizada	Se sembró frijol solo una vez.	Azadón	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna		Manual, con motosierra	Manual	El bosque es muy húmedo, por eso no se volvió a sembrar en esa zona. El ganado pastorea en esa zona.	
	Pastos	Anteriormente frijol y arveja.	Azadón y herbicidas	Estiércol de ganado	Triple 15 y 10-20-20	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Sistema de rotación	Ninguna	Ninguna	Ninguna	
El Roble	Cultivo	Anteriormente arveja, frijol. Actualmente granadilla.	Azadón	Gallinaza	Triple 15 y 10-20-20	Gramoxone, Glifosol	Ninguna	Titane	Ninguna	Manual	Química	Ninguna	
	Área arborizada	Sin intervención más de 45 años	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna		Manual, con motosierra	Ninguna	El ganado pastorea en esa zona	
	Pastos	Anteriormente lula y tomate de árbol	Azadón	Estiércol de ganado	Triple 15 y 10-20-20	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	
El Triunfo	Cultivo	Frijol, tomate de árbol, lula, curuba. El último año: frijol, tomate y lula.	Se preparó el suelo con azadón y tractor	Gallinaza	Triple 15 y 10-20-20	Glifosol	Dithane, Manzate y Rodas.	Furadan, Decis, Tamaron	Deja 1 año de descanso del terreno.	Manual	Química y manual.	En el transcurso de la investigación se cambió el cultivo de frijol a tomate de árbol asociado con lula.	
	Área arborizada	Sin intervención más de 45 años	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna		Manual, con motosierra	Ninguna	Horizonte 0 de alta densidad.	
	Pastos	Mara, papa, curuba, frijol, maíz, tomate de árbol y se sembró pasto	Azadón	Estiércol de ganado	Triple 15, total des arrolla, 10-20-20 y 10-30-10	Glifosol	Ninguna	Furadan	Sistema rotacional	Ninguna	Ninguna	Ninguna	

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos



Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos

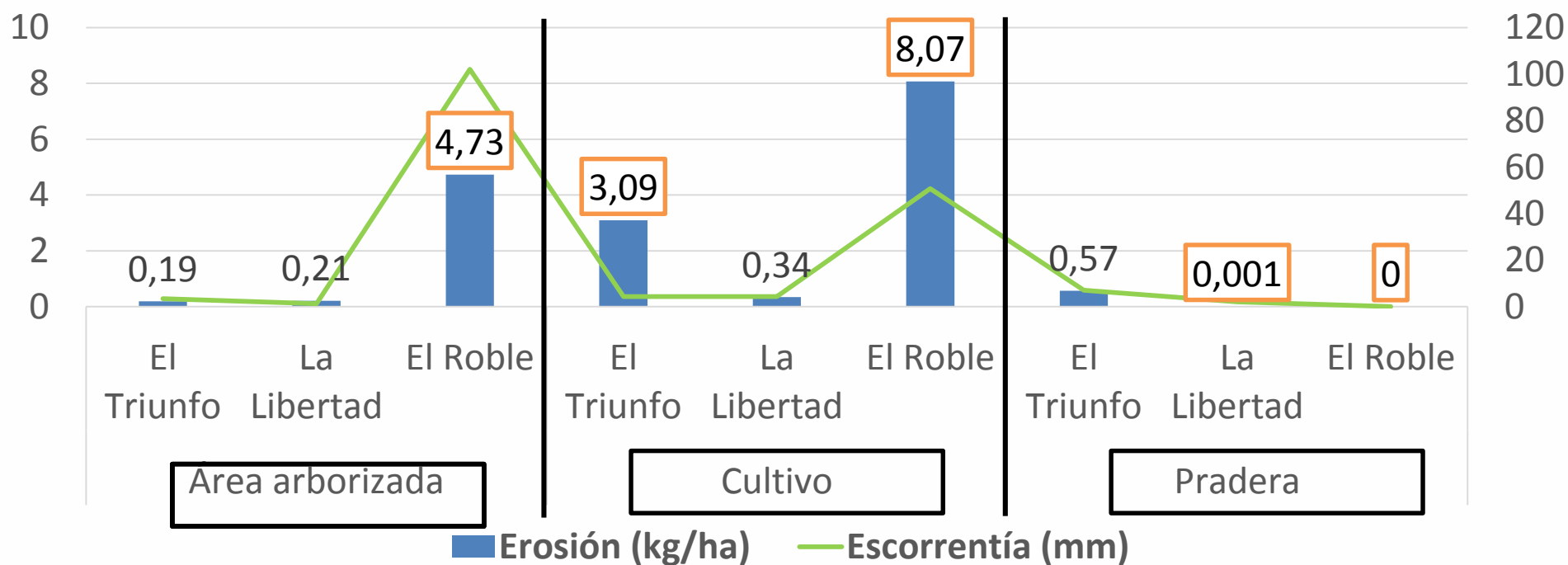
COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS VS REGISTROS HISTÓRICOS



— MEDIA HISTÓRICA — MAX HISTORICA — MIN HISTORICA
— PASTOS — ÁREA ARBORIZADA — CULTIVOS

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos

TOTALES DE EROSIÓN Y ESCORRENTÍA

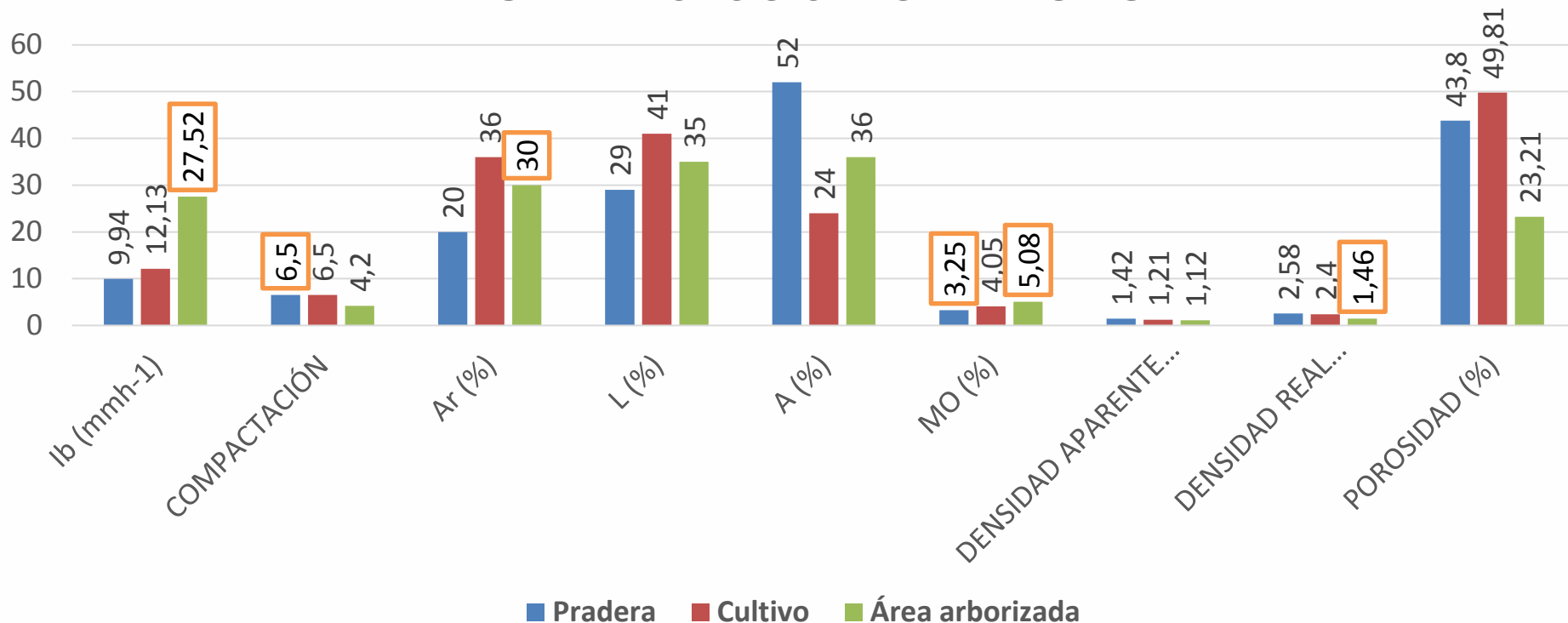


- Escorrentía en plantaciones de eucalipto: *Wei y otros (2007); FAO (1987)*
- Mayores pérdidas en cultivo : Cultivo 2610kg/ha y en bosques y praderas 90kg/ha : *Rodríguez, Sepúlveda, Camargo, & Galvis (2009); Castillo & Amézquita (2003); Hill, Clérici, Mancassola, & Sanchez (2015)*

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos

Finca El Triunfo

PROPIEDADES FÍSICAS FINCA EL TRIUNFO



- Densidad real en sistemas forestales: 1,10 a 2,30 g/cm³: Rubio (2010); Acevedo, Valera, & Prieto (2010).
- Más MO más infiltración Gol,(2009)
- Pradera: **Fr** en alto riesgo , área arborizada moderado y cultivo alto riesgo: **FrAr**

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos

Finca El Triunfo

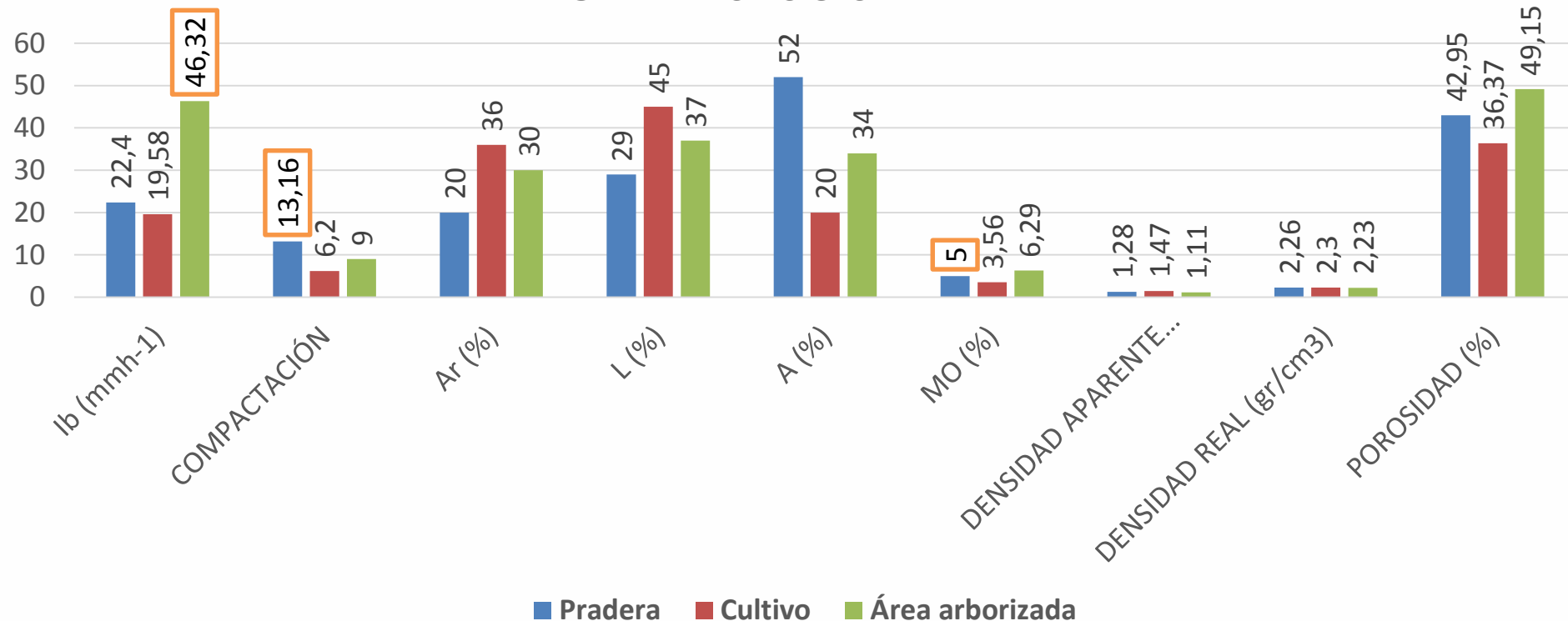
SISTEMA	PRECIPITACIÓN TOTAL(mm)	EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA (mm)
Pradera	683	0,57	7,02
Cultivo	770,5	3,09	8,75
Área arborizada	519	0,19	3,37

- Pérdidas en cultivo **83%** más que pradera y **94%** más que en área arborizada
- **Semanas 42 a 45** más precipitación, cambio en la cobertura, remoción del suelo, siembra a favor de la pendiente (*Salas, 2011*); (*Almorox, López, & Rafaelli, 2010*); (*Nuñez, 2001*); (*Quiroz & Hincapie, 2007*); *UNESCO (2010)*; *Moreno, y otros (2011)*
- Mayor infiltración menor escorrentía
- Pradera: compactación, menos MO, menos Arcillas *Stocking & Murnaghan (2003)*

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos

Finca La Libertad

PROPIEDADES FÍSICAS LA LIBERTAD



- Cultivo menor contenido de MO
- Área arborizada mayor infiltración
- Pradera mayor compactación *González, Iglesias, & Herrera (2009)*
- Pradera estable: **Fr**; Cultivo degradado: **FrArL**; área arborizada estable : **FAr**

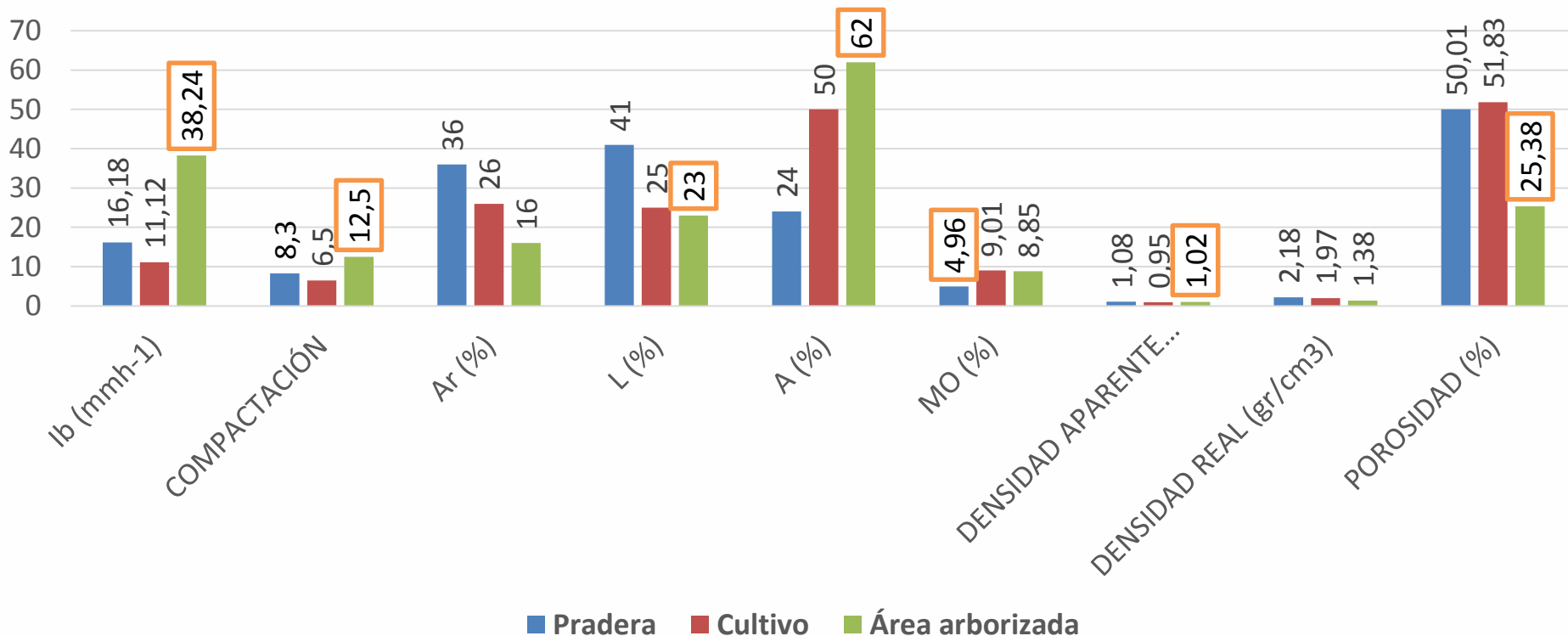
Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos Finca La Libertad

FINCA	SISTEMA	PRECIPITACIÓN TOTAL(mm)	EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA (mm)
LA LIBERTAD	Pradera	681	0,001	2,05
	Cultivo	708	0,34	4,27
	Área arborizada	502,5	0,21	1,30

- Cultivo El roble **8,07kg/ha**; El Triunfo **3,09 kg/ha**
- Agricultura convencional y erosión *Gliessman (2002) y Ramirez, Hincapie, & Sadeghian (2009)*.
- Decaimiento de la producción, uso indiscriminado del suelo, alta carga de insumos
- Mayor pérdida en área arborizada con menor escorrentía

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos

Finca El Roble PROPIEDADES FÍSICAS EL ROBLE



- Área arborizada : Alta compactación, reflejo densidad aparente (*UNESCO (2010); Taypanta (1993) y Flores (1993)*). Más arenas y limos *Stocking & Murnaghan (2003)*
- Densidad aparente baja suelos derivados de ceniza volcánica *Archer y Smith (1972) y Brady (1974)*

Fase II. Evaluación de propiedades físicas del suelo y parámetros hidrodinámicos Finca El Roble

FINCA	SISTEMA	PRECIPITACIÓN TOTAL(mm)	EROSIÓN (kg/ha)	ESCORRENTÍA (mm)
EL ROBLE	Pradera	636	0,00	0,00
	Cultivo	491,6	8,07	50,68
	Área arborizada	511	4,73	102,06

- Praderas de Kikuyo membrana protectora “colchón”, sistema radicular Suárez (2001).
- Cultivo :Infiltración más baja, alta escorrentía.
- Cultivo: Gallinas
- Área arborizada: Alta compactación, diseño no estratificado (UNESCO (2010); Taypanta (1993) y Flores (1993))
- Pradera alto riesgo: **FrAr**, Cultivo estable :**FrArA**, Área arborizada estable: **FrAr**
- Cultivo alta MO

Fase III. Análisis estadístico

FINCA EL TRIUNFO		FINCA LA LIBERTAD		FINCA EL ROBLE	
Sistema	sign	Sistema	sign	Sistema	sign
CPAS	0,49	NPAS	0,472	MPAS	NaN
CAA	0,35	NAA	0,495	MAA	NaN
CCUL	0,02	NCUL	0,192	MCUL	NaN

ANOVA de precipitación vs escorrentia.

FINCA EL TRIUNFO		FINCA LA LIBERTAD		FINCA EL ROBLE	
Sistema	sign	Sistema	sign	Sistema	sign
CPAS	0,065	NPAS	0,683	MPAS	NaN
CAA	0,288	NAA	0,469	MAA	NaN
CCUL	0,111	NCUL	0,987	MCUL	NaN

ANOVA de precipitación vs erosión

Conclusiones

- En la vereda Santa Marta, Zona de Reserva Campesina de Cabrera las pérdidas por erosión hídrica en los sistemas de cultivos evaluados por 4 meses son de 11,5kg/ha, en área arborizada 5,13 kg/ha y en pradera se pierden 0,57 kg/ha de sedimentos.
- La erosión y la escorrentía en sistemas de cultivo mostraron relación directa principalmente con la cobertura vegetal y las propiedades físicas de infiltración, compactación y porcentajes de los componentes texturales.
- Tanto la erosión como la escorrentía fueron mínimas en relación con las precipitaciones presentadas en todos los sistemas durante la época de estudios, es decir que no se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre la precipitación en la erosión y la escorrentía.

Conclusiones

- Los bosques de eucalipto no estratificados contribuyen al aumento de la erosión por acumulación de gotas de lluvia y aumento de la energía cinética de las mismas.
- La cobertura vegetal superficial del pasto Kikuyo y su sistema radicular amarra las partículas de suelo y por su rugosidad filtra el suelo arrastrado en el agua, disminuyendo de manera eficiente la erosión y las tasas de escorrentía.

Recomendaciones

- Realizar estudios posteriores de técnicas y prácticas que permitan recuperar el suelo degradado, prevengan la degradación de los suelos en riesgo y contribuyan al mantenimiento de condiciones óptimas en los suelos estables para lograr un manejo sostenible de los suelos.
- Metodológicamente se recomienda utilizar láminas del mismo material, pero con un grosor más alto con el fin de obtener una mayor resistencia ya que aunque este material es hasta 5 veces más económico que otros materiales el mantenimiento demanda bastante frecuencia y atención.
- En proyectos que evalúen la erosión hídrica y esorrentía a futuro, es importante caracterizar la precipitación no solo desde la cantidad de mm sino de la intensidad, duración y frecuencia de los eventos ya que esto permite realizar análisis más precisos sobre el efecto erosivo de la lluvia.

Agradecimientos

- A Dios por permitirnos culminar este proceso de aprendizaje.
- A nuestras familias Pinzón- Rojas y Gutiérrez- Pajarito por su apoyo en todos los sentidos, por motivarnos siempre ante las dificultades y brindarnos todas las herramientas para la elaboración de este proyecto.
- A la Corporación Universitaria Minuto de Dios por el financiamiento del proyecto.
- Gracias a los agricultores Milena y Jenny Pineda, Nelson Sierra y Carmen Prieto; a ellos y a sus familias por permitirnos trabajar juntos, por su disposición, por todo lo aprendido durante el proceso y por su inmensa colaboración e interés investigativo.
- Agradecemos enormemente a nuestro director Mario de Jesús Molano Cogua y nuestro codirector Álvaro Acevedo Osorio, por tener siempre la disponibilidad y dedicación de tiempo en el desarrollo de cada detalle de este proyecto, por orientarnos, animarnos, por todo su compromiso y colaboración.



GRACIAS