



**EVALUACIÓN DE CUATRO PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS DE
CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LADERA EN GUASCA - CUNDINAMARCA**

**EDUARDO CORTÉS PRIETO
VIVIANA VARGAS ROJAS**

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

**EVALUACIÓN DE CUATRO PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS DE
CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LADERA EN GUASCA - CUNDINAMARCA**

**EDUARDO CORTÉS PRIETO
VIVIANA VARGAS ROJAS**

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero en Agroecología

DIRECTOR:

ÁLVARO ACEVEDO OSORIO

I.A. PhD Agroecología

CODIRECTOR:

MARIO DE JESÚS MOLANO COGUA

I.A. M.Sc. Riego y Drenaje

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

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

La vida es un largo camino que debemos recorrer pero no lo podemos hacer solos, por eso desde el comienzo de esta trayectoria nos encontramos con personas que son nuestra fuerza, nuestra guía, nuestro ejemplo, que nunca nos dejan solos ni desfallecer en el camino; es por eso que este proyecto es dedicado a aquellas personas que incondicionalmente estuvieron a nuestro lado, igualmente a las que ya no están físicamente pero siempre permanecerán en nuestros corazones.

A nuestros padres y hermanos

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el universo y la vida por permitirnos llegar al punto donde hoy nos encontramos y permitirnos cumplir una meta más en nuestro camino.

A nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional, la dedicación, la confianza y la motivación que siempre nos brindaron ante las dificultades presentadas en la elaboración del presente proyecto y vida profesional.

A nuestros sobrinos por convertirse en una motivación más de alegría, de fuerza y de lucha en el camino de la vida.

A los docentes Álvaro Acevedo y Mario Molano por la confianza, la orientación y la dedicación que nos brindaron durante toda la etapa de desarrollo de este proyecto.

Al profesor Arlex Angarita y al semillero de investigación SIECSA por la disposición y colaboración en el desarrollo del proyecto.

A nuestros compañeros y amigos, quienes nos brindaron su apoyo incondicional y nos acompañaron en el transcurso de la investigación y durante toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	11
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PROBLEMÁTICA	15
1.1. Problema de investigación	15
1.2. Justificación	17
1.3. Objetivos	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. La escorrentía en zonas de ladera y su forma de medición	20
2.2. Tipos de erosión	21
2.3. Procesos de erosión hídrica	23
2.4. Factores que intervienen en la erosión hídrica	24
2.5. Clasificación de la erosión	24
2.5.1. Erosión por salpicadura	24
2.5.2. Erosión laminar	25
2.5.3. Erosión en surcos	25
2.5.4. Erosión en cárcavas	25

2.6. Modelos en la estimación de la erosión hídrica	26
2.7. La conservación del suelo como estrategia agroecológica	27
2.8. Prácticas de conservación de suelos	28
2.8.1. Prácticas de agronómicas	29
2.8.2. Prácticas mecánicas.	30
3. METODOLOGÍA	34
3.1. Tipos de investigación	34
3.2. Hipótesis	34
3.3. Descripción del área de estudio	34
3.4. Fases, métodos y herramientas de investigación	35
3.5. Descripción del procedimiento	36
3.6. Fase 1. Caracterización del área de estudio e instalación de prácticas de conservación.....	37
3.6.1. Caracterización del área de estudio.....	37
3.6.2. Análisis de la precipitación histórica	37
3.6.3. Construcción de prácticas de conservación de suelos	38
3.7. Fase 2. Evaluación de la escorrentía superficial y pérdida de suelo por erosión ..	40
3.8. Fase 3. Evaluación de la percepción sobre la conservación del suelo	41
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Caracterización del área de estudio e instalación de prácticas de conservación ...	42
4.2. Evaluación de la escorrentía superficial	45

4.3. Evaluación de la pérdida de suelos por erosión	51
4.4. Evaluación de la percepción sobre la conservación del suelo	59
5. CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización del uso y manejo del suelo.....	43
Tabla 2. Pérdida de agua de escorrentía superficial para 283 mm de precipitación.....	47
Tabla 3. Análisis estadístico de escorrentía para 283 mm de precipitación.....	50
Tabla 4. Pérdida de sedimentos por erosión hídrica para 283mm de precipitación.....	51
Tabla 5. Análisis estadístico de pérdida de suelo para 283 mm de precipitación.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	35
Figura 2. Proceso metodológico.....	35
Figura 3. Sistema de unidades experimentales completamente al azar.....	36
Figura 4. Dinámica de la construcción de sistema de terrazas.....	39
Figura 5. Localización de lote de estudio.....	42
Figura 6. Análisis de la precipitación promedio anual.....	44
Figura 7. Precipitación total histórica 1975-2015.....	45
Figura 8. Precipitación promedio semanal.....	46
Figura 9. Pérdida de agua de escorrentía por mes.....	47
Figura 10. Variación de la escorrentía superficial en función de la precipitación.....	50
Figura 11. Pérdida de suelo por erosión por mes.....	53
Figura 12. Cantidad de suelo removido en función de la precipitación.....	55
Figura 13. Remoción del suelo en función de la precipitación a partir de las ecuaciones encontradas.....	56
Figura 14. Uso productivo del suelo por parte de interesados en la investigación.....	59
Figura 15. Interés en la conservación y en adquirir conocimiento acerca de la conservación del suelo por medio de estrategias que manejen la erosión.....	60
Figura 16. Conocimiento previo e interés particular de conservación para posible implementación	62
Figura 17. Factores que limitan la implementación de estrategias de conservación de suelos	62

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registros históricos IDEAM, valores totales mensuales de precipitación estación Guasca.....	73
Anexo 2. Trazos de curvas de nivel, construcción de terrazas, zanjas de infiltración, barreras vivas.....	74
Anexo 3. Análisis de muestras en laboratorio.....	74
Anexo 4. Base de datos consolidada. Precipitación en mm, agua escurrida en mm, sedimentos en kg/ha.....	75
Anexo 5. Análisis estadístico escorrentía mm.....	77
Anexo 6. Análisis estadístico sedimentos kg/ha.....	78
Anexo 7. Formato de encuesta.....	79
Anexo 8. Mapa de distribución de textura de suelos en Cundinamarca.....	80

RESUMEN

El proceso de la erosión del suelo es un fenómeno que se encuentra alrededor del mundo y afecta sistemas tanto agrícolas como pecuarios y forestales, conlleva a la pérdida de nutrientes, cambios en las propiedades físicas del suelo, alteración de la fertilidad y disminución de la materia orgánica. En Colombia el 40% de los suelos presentan algún grado de erosión, y el 85% del área destinada a la producción agropecuaria es vulnerable a la pérdida de suelo.

En el presente trabajo, se evaluó la efectividad de cuatro prácticas de conservación de suelos ante la pérdida de agua y suelo producto de la erosión en suelos franco arcillosos ubicados en la vereda Santa Bárbara-Guasca, Cundinamarca. La toma de datos de escorrentía superficial se realizó después de la ocurrencia de precipitaciones. Las muestras tomadas para la evaluación de la pérdida de sedimentos fueron llevadas al laboratorio de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Los resultados obtenidos durante la investigación arrojaron que las zanjas de infiltración son las más efectivas en el control de agua de escorrentía con pérdidas de 13,8mm y pérdidas de sedimentos de 428kg/ha, en comparación con los tratamientos testigos en los cuales se obtuvieron pérdidas de 15,4mm y 3757kg/ha respectivamente.

Palabras clave: Erosión, escorrentía, conservación de suelos.

ABSTRACT

The process of soil erosion is a phenomenon that is found around the world and affects agriculture, livestock production and forest systems. Soil erosion also leads to loss of nutrients, changes in soil physical properties, impaired fertility and decreased organic matter. In Colombia, 40% of the soils have a degree of erosion, and 85% of the area devoted to agricultural production is vulnerable to soil loss.

This work evaluated the effectiveness of four soil conservation practices against soil erosion and loss of water in loamy loam soils, located in Santa Bárbara-Guasca, Cundinamarca. The data collection of surface runoff was performed after the occurrence of precipitation. The samples taken for the evaluation of the loss of sediments were taken to the laboratory of UNIMINUTO. The results obtained during the research showed that the infiltration trenches are the most effective in the control of the runoff water with losses of 13,8mm and sediment losses of 428kg/ha, compared to the control treatments which reported losses of 15,4mm and 3757kg/ha respectively.

Key words: Erosion, surface runoff, soil conservation practices.

INTRODUCCIÓN

La pérdida de suelo por erosión es un fenómeno extendido alrededor de todo el mundo, el cual afecta la productividad de los ecosistemas naturales, además del agrícola, forestal y ecosistema de praderas (Pimentel, 2006). Es por ello que actualmente en áreas agrícolas se implementan diversas técnicas ante la necesidad de reducir los problemas de escorrentía y erosión, y contribuir con las prácticas de conservación de suelos a partir de la implementación de los diferentes tipos de labranza, coberturas vegetales, tipos de terrazas, barreras vivas, canales de infiltración, entre otros (Widomski, 2011).

En Colombia, los estudios realizados sobre la degradación del suelo y la implementación de técnicas de conservación son limitados; sin embargo, lo que se evidencia en ellos es el alto porcentaje de suelos degradados a causa de la erosión; que es consecuencia del uso de prácticas agrícolas inadecuadas, lo que conlleva a la necesidad de los agricultores a recuperar e implementar prácticas de conservación de suelos; consideraciones suficientes que fundamentan a que ésta investigación se oriente a evaluar la efectividad de las prácticas de cultivos en terrazas, barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración en curvas de nivel, analizando los beneficios que trae su implementación para el agricultor.

Éste documento pretende describir la problemática de la pérdida del suelo a causa de la erosión hídrica, las técnicas de conservación de suelo y la metodología propuesta para la implementación del proyecto, por parte de estudiantes del programa de ingeniería agroecología en conjunto con los agricultores de la vereda Santa Bárbara, Guasca – Cundinamarca.

1. PROBLEMÁTICA

1.1. Problema de Investigación

Según la FAO (2015) más del 35 % de la superficie terrestre era considerada vegetación natural, sin embargo, la mayor parte ha sido destinada a la agricultura y pastoreo; actualmente a nivel mundial se presenta una degradación del suelo del 33%, debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación, y contaminación de los suelos, entre otros por el uso de productos de síntesis química.

Una cuarta parte de los suelos se encuentran degradados por causa de diversos factores, principalmente por la erosión hídrica o eólica, el 8% de estos presentan degradación moderada, el 36% degradación ligera, tan solo el 10% se encuentran en proceso de recuperación. El 18% de la superficie de Tierra restante presenta suelos desnudos y el 2% se encuentra bajo cuerpos de agua continentales (FAO, 2011).

La erosión causa anualmente la pérdida entre 25 y 40 millones de toneladas de capa superficial del suelo; lo que significa pérdidas en el rendimiento de los cultivos y disminución en la capacidad del suelo para completar los ciclos del carbono, nutrientes y agua. Para el año 2050 se proyectan pérdidas de suelo cercanas a un área equivalente a 1,5 millones de Km² aptos para la agricultura (FAO, 2015).

Por otro lado, la erosión es un problema que afecta no solo a un grupo de individuos sino a colectivos humanos, afecta incluso variables macroeconómicas de forma tanto directa como indirecta. Es un fenómeno geológico causado por el uso y la implementación de prácticas insostenibles (FAO, 2015), y por factores climáticos como la lluvia, viento, largas y pronunciadas pendientes, uso inadecuado del suelo, falta de cobertura vegetal, e incluso por causa de desastres naturales (León, 2001); resultantes de factores sociales, económicos y las políticas gubernamentales que se desarrollan al respecto (FAO, 2015).

La erosión hídrica conlleva a la pérdida de fertilidad del suelo y a la modificación de las estructuras y características tanto físicas como químicas y biológicas. Los factores que mayor influencia tienen sobre la erosión son el clima, topografía, estabilidad estructural y los diferentes usos del suelo por parte del ser humano (Rengifo et al., 2012).

Como consecuencia de la degradación, la capacidad de infiltración del suelo disminuye, el suelo sufre pérdidas de nutrientes, cambios en las propiedades físicas, alteración de la fertilidad, disminución de la materia orgánica y degradación de la estructura, además de la reducción de la profundidad efectiva del suelo y la remoción desuniforme a nivel de campo (Prado & Veiga, 1993).

En Colombia el 48% de los suelos son propensos a la erosión (Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014). Según el estudio realizado por IDEAM & UDCA (2015) sobre la degradación de los suelos de Colombia realizado en el 40% (45.379.085 ha) de la superficie continental e insular, se presenta algún grado de degradación de suelos por erosión en esta parte del territorio, viéndose afectado un 20% de los suelos con erosión ligera, 17% con erosión moderada, 3% con erosión severa y un 0,2% con erosión muy severa.

El 85% del área destinada a la producción agropecuaria es vulnerable a procesos de pérdida de suelo ocasionados por la erosión (Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014). Específicamente el área afectada en suelos bajo producción agrícola corresponde a un 60%, del cual el 4,6% presentan erosión severa, lo que significa la pérdida de cerca de 1 millón de hectáreas solo en suelos con esta vocación (IDEAM & UDCA, 2015).

La región Andina es la más afectada por los procesos erosivos en el suelo, motivo por el cual el 93% de sus suelos presentan algún grado de erosión, principalmente originada por actividades antrópicas. Del total de la zona, la tercera parte se encuentra con niveles altos de erosión (León & Rodríguez, 2010), siendo más afectados los departamentos de Santander, Boyacá, Cauca, Huila, Norte de Santander y Cundinamarca, debido a que presentan una magnitud de erosión superior al 70% (UNAL, 2015); (IDEAM & UDCA, 2015).

El departamento de Cundinamarca según la FAO (2003), presenta graves problemas de erosión y compactación en gran parte de sus suelos; la lluvia es el principal agente natural causante de estos problemas, sin embargo, también influyen las pendientes fuertes y la implementación de prácticas agrícolas inadecuadas en el suelo. Además el IDEAM & UDCA (2015), clasifican a este departamento dentro del grupo de los más afectados por la severidad de la erosión con respecto a su área.

El municipio de Guasca cuenta con la presencia de suelos relativamente jóvenes, frágiles y con pendientes elevadas, lo cual lo convierte en una zona con alta susceptibilidad a procesos erosivos; ya que es un municipio en el cual se presentan considerables precipitaciones además de las fuentes de recursos hídricos superficiales. De otro lado, se advierte el manejo inadecuado de actividades agrícolas, lo cual también contribuyen con la erosión y pérdida de suelo junto a procesos eólicos e hídricos, generando como resultado en la zona problemas de erosión laminar en surcos, cárcavas y movimientos de remoción en masa (Díaz & Zamora, 2011).

La ubicación geográfica del municipio de Guasca, junto al manejo y uso actual del suelo; aumentan la probabilidad de ocurrencia e incremento de erosión hídrica, es por esto que se plantea como pregunta de investigación: ¿Qué efectividad tienen las prácticas de: barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en ladera, para controlar las pérdidas de suelo y agua de escorrentía, en el municipio de Guasca, Cundinamarca?

1.2. Justificación

El suelo es un recurso no renovable, de vital importancia para la supervivencia del ser humano, ya que se genera una relación de dependencia, debido a que actividades como la producción de alimentos, industria y vivienda se realizan gracias a la intervención sobre este recurso (León, 2001). Además, proporciona una diversidad de servicios ecosistémicos indispensables para la población humana, incluyendo la provisión de alimentos y recursos genéticos, también interviene en los procesos biogeoquímicos y moderación del ciclo hidrológico, brinda un soporte a las plantas, retiene nutrientes esenciales para las especies vegetales, almacena materia orgánica, mantiene la fertilidad y brinda un hábitat para fauna edáfica (IGAC, IDEAM & MAVDT, 2010).

En Colombia la información y estudios relacionados con la degradación del suelo por erosión son limitados, además de esto la información existente presenta divergencia como consecuencia del uso de terminologías y metodologías diferentes. Sin embargo al contrastar la información actual se puede concluir que los problemas de erosión y salinidad en el territorio nacional son problemas de gran relevancia, magnitud y trascendencia, ya que sus causas por lo general actúan en conjunto, y por lo tanto se deben relacionar diferentes componentes además del ecosistémico/ecológico, el económico, social, político y de

amenazas y riesgos en temas de degradación de suelos (IGAC, IDEAM & MAVDT, 2010); (IDEAM & UDCA, 2015).

Debido a la vulnerabilidad de la zona a la erosión y pérdidas de suelo en masa, es importante buscar alternativas de manejo y conservación del recurso suelo, que tengan un impacto significativamente superior al manejo actual y promuevan un uso adecuado del territorio sin comprometer los recursos naturales, sociales y económicos.

Para esta investigación se seleccionaron cuatro prácticas de conservación de suelos, dos agronómicas (barreras vivas, barreras muertas) y dos estructurales (zanjas de infiltración y terrazas); todas reconocidas como prácticas efectivas para prevenir y controlar procesos erosivos en suelos (Hesse-Rodríguez, 1994). Widomski (2011), reporta el uso de las terrazas como método de control de la erosión, aunque cuestiona su efectividad. Según el Programa Desarrollo Rural Sostenible (2003), las barreras vivas y muertas se encuentran dentro de las prácticas agronómicas para prevenir y controlar la erosión, debido a que reducen la fuerza del agua de escorrentía y facilitan su infiltración en el sub-suelo. Por otro lado, según Pizarro et al. (2004) el objetivo de la construcción de zanjas de infiltración en laderas es aumentar la capacidad de infiltración de agua y brindar mayor estabilidad al suelo, disminuyendo así procesos erosivos, sin embargo, resalta que este sistema por sí solo no es un método que controle totalmente los fenómenos erosivos.

Esta investigación aporta elementos importantes para determinar las prácticas de manejo que mejor respondan a las condiciones de los suelos de ladera en sistemas agrícolas del municipio de Guasca – Cundinamarca, favoreciendo su conservación.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Evaluar la efectividad de las barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en ladera como prácticas de conservación de suelo, en el control de la escorrentía superficial y la erosión hídrica para el uso sustentable del suelo en la vereda Santa Bárbara, municipio de Guasca, Cundinamarca.

Objetivos Específicos

- Determinar la magnitud de la escorrentía superficial en sistemas de cultivo con barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en ladera como prácticas de conservación de suelos, en el municipio de Guasca, Cundinamarca en comparación con los mismos sistemas sin prácticas de conservación.
- Cuantificar las pérdidas de suelo debidas a la erosión hídrica en sistemas de cultivo con barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en ladera como prácticas de conservación de suelos, en el municipio de Guasca, Cundinamarca en comparación con los mismos sistemas sin prácticas de conservación.
- Evaluar participativamente con agricultores de la vereda Santa Bárbara, la percepción que tienen sobre los efectos de estas estrategias de conservación en la prevención de la erosión hídrica e incremento de la escorrentía superficial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La escorrentía en zonas de ladera y su forma de medición

Las masas de tierra que poseen cambios de altura significativa o pendientes son denominadas laderas, formadas originalmente por procesos geológicos. Las laderas que se han establecido por muchos años inesperadamente pueden sufrir deslizamientos o movimientos de tierra, ya sea por cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o por causas antrópicas o naturales, las cuales modifican el estado natural de estabilidad de la pendiente (Suárez, 1998).

Entre los flujos de agua, la escorrentía o proporción de lluvia que fluye sobre la superficie de los terrenos, inicialmente se desplaza de forma laminar y luego en pequeñas concentraciones, la cuales van aumentando ladera abajo. Sin embargo, en la cantidad y concentración de escorrentía intervienen factores como la intensidad de lluvias, área y forma de la superficie del terreno, pendiente y longitud de laderas, naturaleza y extensión de cobertura vegetal, rugosidad del terreno y características de suelos subsuperficiales (Suárez Díaz, 2001).

Por lo tanto, León (2001) se refiere a la escorrentía superficial como el flujo de agua sobre una superficie, en la cual la capacidad erosiva está dada por condiciones edáficas, topográficas y de cobertura del suelo. La escorrentía superficial generalmente es producto de la insuficiente velocidad de penetración de la lluvia en el perfil edáfico del suelo.

En el proceso de escorrentía inicialmente el agua lluvia satisface las necesidades hídricas del suelo y el ambiente atmosférico en el que se encuentran los cultivos. Las variables del clima como la temperatura, humedad relativa, lluvia, radiación solar y viento, intervienen en el proceso de generación de la transpiración de las plantas y la evaporación del agua de la superficie del suelo. De forma paralela ocurre el proceso de infiltración de agua al suelo, el cual dependiendo de la textura, estructura, tipos de poros y contenido de materia orgánica del mismo, se almacena o no el agua en los diferentes horizontes (Núñez, 2001).

Dentro de los métodos directos más empleados para la medición de la escorrentía superficial se diferencian dos categorías; una de campo y una de laboratorio. En los métodos de campo igualmente se encuentran dos tipos, las parcelas permanentes para medidas constantes, y medidas puntuales en un gran número de sitios o situaciones (León, 2007).

Por un lado las parcelas de escorrentía corresponden a proporciones de terreno en el que su tamaño es variable, están limitadas por paredes que aíslan el agua de escorrentía, evitando el paso de esta hacia adentro o hacia afuera de la parcela, por lo tanto, el agua que fluye dentro de la parcela es concentrada en tanques donde además son recolectadas las muestras para su posterior análisis; sin embargo en diversas ocasiones se presentan errores en los resultados obtenidos, a raíz de factores como la posible formación de arroyos junto a los laterales empleados (León, 2007).

De otro lado, con la implementación de cajas Gerlach (artesas Gerlach) según Morgan (1986) citado por (León, 2003), son superados algunos de los problemas asociados al uso de las parcelas de escorrentía. Dada su simplicidad y bajo costo, pueden usarse a efectos de muestreo de pérdidas de suelo en un gran número de sitios seleccionados en un área extensa, siendo por tanto apropiadas para estudios de erosión a una escala de cuenca hidrográfica. Adicionalmente Sala (1988) concluye que aunque también se presentan disturbios durante su instalación, estos son menores a los presentados por las parcelas, principalmente por el efecto de borde que en el caso de las cajas Gerlach no se cuentan.

2.2. Tipos de Erosión

La erosión geológica o natural hace referencia al desgaste de la superficie terrestre de forma natural, sin la acción del hombre y por tanto está fuera de su control. En la erosión natural actúan ciertos factores como el agua lluvia, las corrientes fluviales, el mar, el viento, la temperatura y la gravedad. Esta clase de erosión es un factor que contribuye a la formación del relieve, la meteorización de las rocas y además a la formación del suelo (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1985).

Según Núñez (2001), la erosión geológica o natural produce a lo largo de una evolución lenta e imperceptible el desgaste de las superficies rocosas, la modificación de los paisajes y la acumulación de sedimentos en áreas bajas de una región geográfica determinada.

De otra parte, la erosión acelerada o antrópica es la erosión derivada de las acciones humanas, las cuales generan el desequilibrio entre el suelo, la vegetación y el agua o el viento. El hombre favorece la acción erosiva derivada del agua o el viento, principalmente en los terrenos donde se presentan pendientes, al hacer uso de herramientas inadecuadas para sus labores, al realizar tala de bosques o quema de la vegetación, al construir infraestructuras o vías de comunicación (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1985).

Algunos de los efectos directos de la actividad antrópica son las inundaciones en áreas geográficamente de baja altitud y cerca de los ríos o regiones costeras, pérdida de la capa superficial de los suelos y escorrentía superficial de aguas de origen pluvial debido a que arrastran las partículas coloidales del suelo en suspensión acuosa, especialmente arcilla y humus (Núñez, 2001).

La erosión eólica es causada por el viento, es más evidente en terrenos sueltos, centrados en regiones donde se presentan variaciones de altas temperaturas, poca precipitación y vientos fuertes. Es el movimiento de partículas a través del desprendimiento, transporte y deposición de las mismas (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1985).

Según lo descrito por Suárez Díaz (2001), la erosión eólica se da cuando los suelos sin cobertura vegetal están expuestos a altas velocidades del viento. En el momento en que la velocidad del viento genera una fuerza tractiva mayor a la fuerza gravitacional y cohesiva de las partículas presentes en el suelo, el viento las desprende y transporta en suspensión.

Por su parte la erosión hídrica se constituye como uno de los principales procesos de la pérdida de suelo. Representa una de las formas de erosión más completas, englobando tanto la degradación física, como la química y biológica (Vega, 2008).

El agente que interviene en el proceso de la erosión hídrica es la lluvia, la cual actúa a través del impacto que las gotas de lluvia generan, como el desprendimiento del suelo y el

arrastré del mismo por el agua de escurrimiento (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1985). Tayupanta (1993) se refiere a la erosión hídrica como el resultado de las energías que es producida por el agua al precipitarse y fluir sobre la superficie de la tierra. El programa Desarrollo Rural Sostenible (2003) agrega que de la cantidad, intensidad y distribución de las lluvias depende el volumen de flujo que se desliza sobre la tierra llevando en suspensión las partículas minerales contenidas en el suelo.

2.3. Procesos de la erosión hídrica

Las gotas de lluvia, causantes de erosión, se presentan de formas y tamaños diferentes, sus tamaños oscilan entre 5 a 6 mm de diámetro. Cuando estas cruzan el espacio, adquieren una velocidad que varía entre 2 a 9 m/seg, de acuerdo al diámetro que presenten. El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo es la fase principal del proceso erosivo (Tayupanta, 1993).

Después de que las gotas de lluvia impactan el suelo, este se disgrega, lo que ocasiona el salpicado de partículas hacia todas las direcciones. En suelos planos las partículas se dispersan uniformemente, pero en terrenos con pendientes las partículas alcanzan a ser transportadas. En el caso de las arenas finas es donde más fácilmente salpican las partículas (Tayupanta, 1993).

Cuando se da el fenómeno en que la precipitación es mayor que la infiltración, se produce un excedente de agua, el cual escurre a través de la superficie y la pendiente del suelo, transportando consigo las partículas removidas del suelo, dependiendo del volumen y velocidad. El agua de escurrimiento se concentra en las grietas o rugosidades de los terrenos, formando surcos o cárcavas (Tayupanta, 1993). Cardoza (2007) describe el escurrimiento superficial como parte de la precipitación que se mueve sobre los terrenos de forma laminar, la cual se acumula en las zonas más bajas de los mismos.

A medida que va disminuyendo la velocidad del agua y escurrimiento, las partículas se van asentando. Primero van quedando las partículas más grandes y luego las más pequeñas. Esto ocurre hasta cesar completamente el escurrimiento de agua, en ocasiones, este no cesa hasta llegar y desembocar a ríos, lagunas o el mar (Cardoza, 2007).

2.4. Factores que intervienen en la erosión hídrica

En la erosión hídrica interviene principalmente cuatro factores: clima, relieve, tipo de suelo y vegetación. Sin embargo, con estos se puede integrar la influencia del tiempo y las acciones del hombre. La cobertura vegetal es un factor que protege la superficie de los suelos de las fuerzas erosivas provocadas por las intensas gotas de lluvia, facilita la infiltración de agua y mejora la estructura del suelo. Las raíces de las plantas le brindan un soporte al suelo, el cual impide su desprendimiento (Walle, 2003).

El clima es el factor que mayor favorece la erosión, principalmente climas con precipitaciones de carácter irregular, reiteración aleatoria de prolongadas sequías y fuertes lluvias, fuerte evaporación y déficit de agua (Almorox, López, & Rafaelli, 2010).

La topografía de los terrenos es otro factor que influye en la erosión por medio de las pendientes y longitud que impide el flujo de agua. Es considerada una barrera natural importante a tener presente dentro de las actividades de conservación de los suelos. En los suelos ricos en materia orgánica, estos resisten la erosión gracias a su alta capacidad de infiltración (Walle, 2003).

Las características físicas y químicas de los suelos tienen una gran influencia en los mecanismos e intensidad de los procesos de degradación. La erosionabilidad de un suelo, define su susceptibilidad a la erosión. Se presenta como una propiedad dinámica, la cual depende de múltiples factores como la estructura, materia orgánica, textura, rugosidad superficial, pedregosidad superficial, humedad inicial del suelo, perfil del suelo, temperatura y prácticas de cultivo (Almorox, López, & Rafaelli, 2010).

2.5. Clasificación de la erosión hídrica

Por lo general la erosión hídrica es clasificada en tres tipos de erosión, los cuales se pueden generar de forma simultánea en el mismo terreno.

2.5.1. Erosión por salpicadura

Se presenta como consecuencia del impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados superficiales del suelo, generando una barrera superficial que influye negativamente

en el proceso de infiltración. Este tipo de erosión está directamente relacionado con la intensidad de la lluvia y su energía cinética, e indirectamente con la estabilidad de agregados y la cobertura del suelo (Cisneros, Cholaky, Cantero, Gonzalez, Reynero, Diez & Bergesio, 2012).

2.5.2. Erosión laminar

Se lleva a cabo la remoción de capas delgadas y uniformes del suelo, es la forma de erosión más peligrosa, aunque es la menos notable. Dentro de los efectos que ocasiona al suelo es la pérdida de color superficial por efectos de remoción de humus, además de la reducción del rendimiento productivo del suelo en forma progresiva. La erosión laminar afecta los suelos principalmente porque es selectiva sobre las partículas del suelo, primero desplaza la porción de partículas más finas o livianas, luego, a raíz de este acontecimiento se desarrolla el conocido pavimento de erosión, en el cual se pierde totalmente todo el material liviano, como por ejemplo la materia orgánica (León, 2001).

2.5.3. Erosión en surcos

Ocurre cuando por irregularidades de los terrenos, la escorrentía se concentra en algunos puntos del mismo, hasta adquirir un volumen y velocidad suficiente para realizar cortes y formar pequeños canales. A partir de este tipo de erosión a lo largo de las pendientes se forman zanjas pequeñas, las cuales dirigen la concentración de la escorrentía. Sin embargo, por ser notorios por parte del agricultor se les brinda mayor atención, por lo cual son borrados a través de labores culturales. Por lo general ocurre cuando se presentan fuertes aguaceros y los terrenos cuentan con pendientes pronunciadas (Cisneros et al., 2012).

2.5.4. Erosión en cárcavas

Por lo general se presentan donde hay mayor concentración de la escorrentía en zonas determinadas del terreno, la cual año tras año van ampliando los surcos a partir de la acción de las corrientes de gran volumen y velocidad. Comúnmente las cárcavas se forman a partir de surcos de poca profundidad y en los cuales los aguaceros van cavando hasta agrandarse paulatinamente. En algunos casos excepcionales, donde los terrenos son muy propensos a la erosión, a partir de un solo aguacero se puede formar la cárcava (León, 2001).

Cuando las cárcavas adquieren una cierta profundidad toman forma de cascada, lo cual hace que se produzca una turbulencia en la base de la misma, quedando sobresaliendo la parte superior; esta se desprende por la acción de su peso, y la cárcava entonces avanza más hacia la parte superior (Tayupanta, 1993).

2.6. Modelos en la estimación de la erosión hídrica

Los modelos de evaluación de procesos erosivos se basan principalmente en la obtención de datos matemáticos, los cuales describen la disgregación, transporte y deposición de los materiales presentes en el suelo. Se clasifican en modelos cualitativos y modelos cuantitativos (Vega, 2008).

Los Modelos cualitativos son estudios utilizados generalmente a nivel de reconocimiento o diagnóstico, constituye una opción ágil para la construcción futura de toma de decisiones con respecto a la pérdida de suelo por erosión (Vega, 2008). Estos métodos están orientados a expresiones cartográficas, estableciéndose niveles de jerarquización en función de distintos parámetros que controlan el proceso erosivo, como la erosividad del suelo, la vegetación y la topografía (Lagos, 2006).

Los Modelos cuantitativos son modelos que permiten estimar de forma numérica la pérdida de suelo por erosión (Vega, 2008). Estos modelos se diferencian en formas de evaluación directa e indirecta, los últimos en la actualidad son los de mayor aplicabilidad (Lagos, 2006).

Se llama Modelos de evaluación indirecta a los que realizan representaciones simplificadas de la realidad, dentro de estos modelos se pueden apreciar modelos estadísticos, modelos físicos y modelos paramétricos (Hernández, 2011); mientras que los modelos de evaluación directa corresponde a unidades experimentales en las que se instalan instrumentos con el objetivo de estimar las pérdidas del suelo (Vega, 2008). Según Hernández (2011), estos métodos se desarrollan en terrenos a través de mediciones en las parcelas de erosión o por la medición de variables, tales como sedimentos en el agua, o con la ayuda de simuladores de lluvia, en donde los resultados obtenidos pueden ser extrapolados a zonas homogéneas.

En las unidades experimentales establecidas se involucra tanto la captación del caudal líquido como sólido, por lo cual también se conocen como formas de medición de erosión. El objetivo del sistema es la captación de agua y suelo escurridos de la parcela o unidad experimental, la cual es almacenada en depósitos para la posterior medición de su cantidad y calidad. Este sistema permite medir la cantidad de suelo que se pierde en un terreno bajo determinadas pendientes, rotación y cobertura dada (Lagos, 2006).

2.7. La conservación de suelos como estrategia Agroecológica

Actualmente la agricultura convencional contribuye con una gran variedad de prácticas de manejo del suelo, las cuales tienden a favorecer la alta productividad de los cultivos a corto plazo. Sin embargo, con la implementación de estas prácticas para los agricultores sostener la productividad de los cultivos es una dinámica cada vez más difícil, debido a los efectos que este tipo de agricultura genera (Gliessman, 2002).

Para la conservación de la productividad de la agricultura se requiere de sistemas sostenibles, basados en el conocimiento adecuado y profundo de los procesos ecológicos que integran el contexto en el que se encuentra el sistema. Igualmente en los sistemas sostenibles se debe tener en cuenta: (i) que haya un mínimo efecto negativo en el ambiente, (ii) preservar y reconstruir la fertilidad de los suelos, prevenir la erosión y mantener la salud ecológica, (iii) usar los recursos hídricos de forma adecuada, reciclar los recursos del agroecosistema, (iv) valorar y conservar la diversidad biológica, entre otras (Gliessman, 2002).

La agricultura tradicional por su parte contribuye con una diversidad de modelos y prácticas para el desarrollo de la agricultura sostenible, sin embargo, esta no produce la cantidad de alimentos necesarios para cubrir la demanda requerida por la población, debido a que su producción es dirigida a necesidades locales y a pequeña escala (Gliessman, 2002).

La agroecología se define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles y conservación de los recursos, además de ofrecer ventajas favorables en el desarrollo de tecnologías para el agricultor (Altieri, 2001). Gliessman (2002), agrega que en la agroecología se proporciona el

conocimiento y la metodología necesaria para el desarrollo de la agricultura, en la cual se busca que sea ambientalmente adecuado, altamente productiva y económicamente viable.

Según Altieri (2001), la agroecología se basa no solo en las tecnologías modernas de agricultura, sino también en los conocimientos indígenas, con el objetivo de diversificar la producción del sistema. Va más allá del concepto unidimensional de agroecosistema para comprender los niveles ecológicos y sociales de coevolución, estructura y función.

La agroecología se rige además a través de unos principios, con los cuales busca mejorar los procesos naturales e interacciones biológicas, dichos principios son (Altieri, 2001): (i) Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes, (ii) asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo, (iii) minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosechas de agua y manejo de suelo a través de coberturas, (iv) diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio y (v) aumentar los componentes de biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

La conservación de los suelos desde el punto de vista de agroecología, se trata de mantener y promover la formación del suelo, además de sus procesos de protección, incluyendo la materia orgánica, a través de la incorporación e implementación de fertilizantes orgánicos, rotación de cultivos, conservación de coberturas y residuos de cosecha y técnicas adecuadas de labranza (Gliessman, 2002).

2.8. Prácticas de conservación de suelos

Se define como el conjunto de actividades a nivel local que mantienen o aumentan la capacidad productiva de la tierra en áreas afectadas por la degradación. Además de prevenir o reducir la erosión del suelo, la compactación y la salinidad (WOCAT, 1992). Según Loredo (2005) las prácticas de conservación del suelo deben incluir cuatro acciones básicas: la de proteger el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, incrementar la capacidad de infiltración para reducir el escurrimiento superficial, mejorar la estabilidad de los agregados

del suelo para hacerlo más resistente a la erosión por salpicaduras, y aumentar la rugosidad de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento.

Es un sistema que complementa y combina las obras estructurales con las prácticas agronómicas, vegetativas y mecánicas (Raudes & Sagastume, 2009). La FAO (2000) define la conservación como el uso que se le brinda al suelo dentro de los límites de practicabilidad económica, de acuerdo con sus capacidades y necesidades para mantenerlo permanentemente productivo.

2.8.1. Prácticas agronómicas

La mayoría de los problemas de erosión y degradación de los suelos en el campo agrícola, están asociados a prácticas agronómicas deficientes, principalmente en la preparación de los terrenos al momento de realizar las siembras. Las prácticas agronómicas son conocidas como labranza, las cuales se refieren a los diferentes tipos de manipulaciones mecánicas de los suelos. Sin embargo, los beneficios de la labranza en los suelos depende de la intensidad y forma con que se apliquen estos sistemas (Loredo, 2005).

Las prácticas agronómicas para evitar y controlar la erosión, son las actividades tales como el cincelado, labranza de conservación, incorporación de materia orgánica y aplicación de mejoradores de suelo, los cuales ayudan a reducir la densidad aparente, aumentar la capacidad de infiltración y conservar la humedad (Loredo, 2005). También se puede apreciar la asociación de cultivos, cultivos diversificados, rotación de cultivos, surcos en contorno, cultivo en fajas, cobertura muerta, barreras vivas, labranza cero, labranza mínima, agroforestería y cultivos de cobertura (Programa Desarrollo Rural Sostenible, 2003).

Cultivos de barreras vivas: Consiste en la preparación transversal a la pendiente de terrenos para la siembra de cultivos los cuales requieren de deshierbes periódicos y otras labores culturales de remoción del suelo. Estos cultivos son intercalados con cultivos de cobertura, con el fin de disminuir intervalos y que la velocidad del agua disminuya. Son implementados en terrenos con pendientes bajas (por lo general entre 2% y 15%), uniformes y largas (Programa Desarrollo Rural Sostenible, 2003).

Según la FAO (1990), los cultivos en fajas son implementados siguiendo un orden sistémico de bandas o fajas, las cuales sirven como barreras para la retención de agua y para evitar la pérdida de suelo por erosión. Los principales tipos de cultivos en fajas son: fajas en curvas de nivel, fajas en campos y fajas rompevientos.

Los cultivos en fajas establecidos adecuadamente, aumentan la fertilidad de los terrenos, suministra buena cubierta vegetal y asegura la presencia de banda de cultivo denso, los cuales actúan como barreras vivas. Se presentan dos tipos de cultivos en fajas, los cuales son al contorno y transversales al viento (Hesse-Rodríguez, 1994).

Barreras muertas: Consiste en la implementación de muros de piedra o rastrojo a través de las curvas de nivel del terreno, sirven para disminuir la erosión de los suelos, además de reducir la velocidad del agua de escorrentía (FAO, 2015). Los muros son construidos en sentido transversal a la pendiente, algunas veces en combinación con barreras vivas. Las barreras muertas facilitan la sedimentación gradual de las partículas del suelo, principalmente arena, limos y arcillas (Núñez, 2001).

Las barreras muertas de piedra son construidas con piedras superficiales presentes en el propio terreno. En terrenos pendientes los muros deben ser construidos en una pequeña base plana, además no deben sobrepasar los 60 cm de alto (FAO, 2005).

Para la implementación de barreras muertas de rastrojos, se aprovechan los residuos de cosechas, los cuales se organizan siguiendo las curvas de nivel para evitar el arrastre del suelo. Los rastrojos sobre la superficie de los terrenos influyen decisivamente sobre el comportamiento tanto del suelo, como de los cultivos posteriores. Forman una interface suelo – materia orgánica en la capa superficial (FAO, 2005).

2.8.2. Prácticas mecánicas

Son aquellas que se realizan bajo el uso de implementos agrícolas, aditamentos especiales o con mano de obra. Consiste en realizar cortes y movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y bajar los niveles de erosión en terrenos con presencia de pendientes. La elección del tipo de práctica a considerar depende de la clase y

uso del suelo, del valor de los terrenos a proteger y la disponibilidad de recursos económicos, además de considerarse aspectos operativos y de eficiencia (Loredo, 2005).

Zanjas de infiltración: Hacen referencia a canales sin desnivel construidos por lo general en laderas, en sentido transversal a la pendiente y siguiendo las curvas de nivel (Pizarro et al., 2004). El objetivo de esta técnica de conservación es retener el agua proveniente de las partes altas de las laderas, controlando su velocidad y pérdida de la misma, y a su vez aumentar la capacidad de infiltración del agua en el suelo (Aguirre, 1996); (Flores, 2015). Además, Cotler (2015) destaca los beneficios de las zanjas de infiltración sobre la producción de la biomasa y la forestación en ambientes degradados.

Los diseños de las zanjas de infiltración siguen por lo general dos criterios: (i) el espaciamiento entre zanjas debe ser tal que permita un control adecuado de la erosión, y (ii) la capacidad adecuada de las zanjas debe almacenar un determinado volumen de agua producido por la lluvia y favorecer el crecimiento de plantas (Pizarro et al., 2004).

Sistema de Terrazas: Las terrazas son técnicas de conservación y de cultivo de los suelos que han sido utilizadas de forma tradicional contra la lucha de la desertificación, principalmente de las zonas montañosas. Su principal objetivo es la conservación del suelo y agua, ya que reducen la velocidad del agua de escurrimiento. Redistribuye el suelo en los terrenos que presentan pendientes con pequeñas o moderadas profundidades, aumenta la profundidad del suelo disponible para el desarrollo de las raíces de las plantas, disminuye el nivel de la pendiente mejorando así el acceso al terreno y el fácil desarrollo de los trabajos agrícolas, disminuye la escorrentía superficial (Kosmas et al., 2008).

La implementación de terrazas es una técnica agrícola que se encarga de recoger agua de escorrentía superficial permitiendo una mayor infiltración de la misma, y así evitar y controlar la erosión hídrica. Ha sido una técnica usada para transformar el paisaje de muchos agroecosistemas montañosos. Son aprovechadas además para la implementación de diferentes cultivos, desde granos a cultivos de uvas o árboles frutales (Widomski, 2011).

El objetivo principal de la implementación de terrazas es la de mejorar la utilidad de las pendientes y aumentar su potencial en la agricultura, función que se realiza mediante la

creación de las superficies con base en las curvas de nivel y las pendientes. Las terrazas permiten capturar el agua de escorrentía superficial, disminuye su velocidad, y por tanto permite un mayor tiempo en el proceso de infiltración de agua al suelo (Widomski, 2011).

Las terrazas son implementadas alrededor de todo el mundo como un método exitoso de control de erosión, sin embargo en algunos casos la eficiencia de las mismas es limitada, principalmente cuando el mantenimiento de la terraza no es adecuado y la combinación con algún tipo de vegetación es escasa (Widomski, 2011).

Existen diversos tipos de terrazas, entre ellas las individuales, de banco, de base angosta, de base ancha, de bancos alternos y entrelazados; Las Terrazas individuales son construidas mediante muros en forma de media luna, la cual proporciona una forma de bolsa de suelo lo que favorece las raíces de los cultivos frutales (Kosmas et al., 2008). Son pequeños bancales de plantación, generalmente para árboles permanentes o semipermanentes. Retienen la humedad de los suelos, especialmente si están cubiertas con sustancias orgánicas, evita la pérdida de fertilizantes (FAO, 1990).

Las Terrazas de banco o absorción son plataformas planas, construidas en terrenos con pendientes fuertes, están separadas por muros inclinados protegidos por vegetación o en ocasiones muros secos de piedra (Programa Desarrollo Rural Sostenible, 2003). Son cortes y rellenos de suelo que forman escalones en sentido perpendicular a la pendiente del terreno, los cuales reducen la velocidad del escurrimiento de agua, conserva la humedad, facilita labores de cultivo o de plantación de árboles, promueve el uso intensivo del espacio, aumentando los rendimientos de los cultivos (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, 2009).

Las Terrazas de base angosta son plataformas continuas trazadas transversalmente a la pendiente, interceptando así el agua de escorrentía (Walle, 2003). Se adaptan a terrenos con pendientes de más de 6%, son fáciles de construir bajo cualquier régimen pluviométrico, ya que el borde puede construirse a nivel o considerando una pendiente de desagüe en donde se efectúe una rotación frecuente (Villarreal, 2000). Por su parte las terrazas de base ancha, son superficies rectangulares las cuales siguen las curvas de nivel del terreno (Kosmas et al., 2008). Son secciones transversales las cuales están constituidas de forma que se permita

realizar las labores culturales en toda la sección, las pendientes de los bordes y el canal son proyectados de acuerdo con la maquinaria a utilizar (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, 2009).

Las Terrazas de bancos alternos corresponde a un sistema constituido por una serie de terrazas de banco en forma alterna con fajas de terreno de cultivo o natural, en los cuales no se realizan movimiento de tierra, este sistema es diseñado para mejorar las labores agrícolas y condiciones del terreno (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, 2009). Este sistema se adapta a terrenos con pendientes de 6% o más, con presencia de suelos profundos (Villarreal, 2000).

Por otro lado, las Terrazas entrelazadas son aquellas construidas en forma de zigzag a través de la pendiente, están unidas entre sí en sus extremos, de tal forma que quede un espacio entre una y otra para facilitar el acceso (Kosmas et al., 2008). Es un sistema formado por un área de siembra y otro de escurrimiento, en el área de siembra se encuentra un canal, el cual se define como área de captación, es una terraza recomendada en zonas áridas (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México, 2009).

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La investigación se basó en el tipo de investigación experimental con enfoque cuantitativo. Teniendo en cuenta que la investigación de tipo experimental está orientada más a investigaciones cuantitativas que cualitativas; su principal propósito es validar o comprobar una hipótesis basada en experimentos, donde se somete un objeto en estudio a la influencia de una serie de variables, en condiciones controladas y conocidas por parte del investigador. Es así como la investigación cuantitativa hace referencia a cantidades, su método principal es la medición y los cálculos. Busca medir las variables del experimento con referencia en magnitudes (Niño, 2011).

3.2. Hipótesis

La implementación de sistemas de barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en ladera, son prácticas de conservación efectiva en mayor o menor nivel para disminuir la pérdida de suelo y la escorrentía superficial en suelos de ladera en la vereda Santa Bárbara, Guasca – Cundinamarca, en comparación con terrenos sin dichas prácticas.

3.3. Descripción del área de estudio

El proyecto de investigación se realizó en la Vereda Santa Bárbara, municipio de Guasca, Cundinamarca, región del Guavio. El municipio limita al oriente con el municipio de Junín, al occidente con el municipio de Sopó, al norte con Guatavita y al sur con La Calera y Fómeque (Ver figura 1). Está ubicado a 2710 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una extensión de 346 km² (Alcaldía Municipal de Guasca – Cundinamarca, 2015). La Unidad agrícola familiar (UAF) establecida para la región del Guavio corresponde entre 15 a 25 ha en suelos ondulados a quebrados y de 2 a 4 ha para suelos planos (Resolución 041 de 1996, 1996).

Los suelos que se presentan en el municipio son suelos jóvenes, los primeros horizontes se encuentran influenciados por cenizas volcánicas. Debido a que se constituye

un relieve ondulado, los suelos presentan una alta susceptibilidad a la erosión (Cantillo, Lozada & Pinzón, 2009). Por otro lado en ésta zona se encuentra una asociación de suelos entre Typic Melanudands y Pachic Melanudands, pertenecientes al orden de los Andisoles (IGAC, 2000).

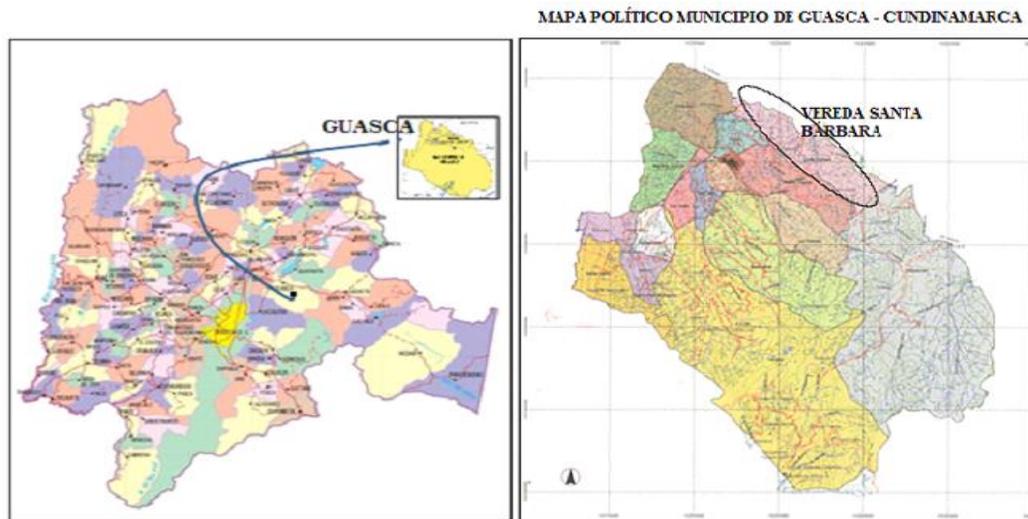


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Fuente: Alcaldía Municipal de Guasca Cundinamarca, (2015), modificado por autores (2017).

3.4. Fases, métodos y herramientas de investigación.

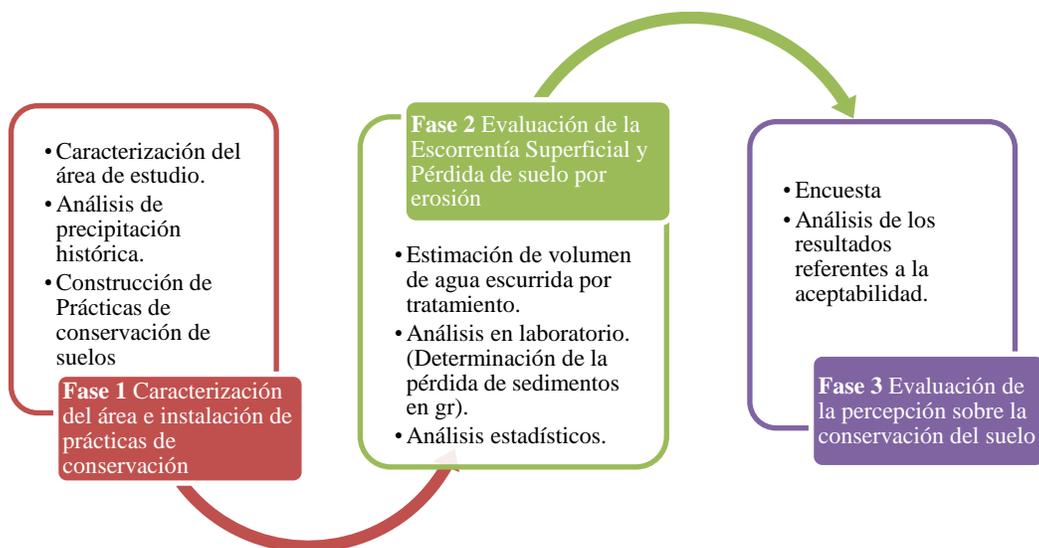


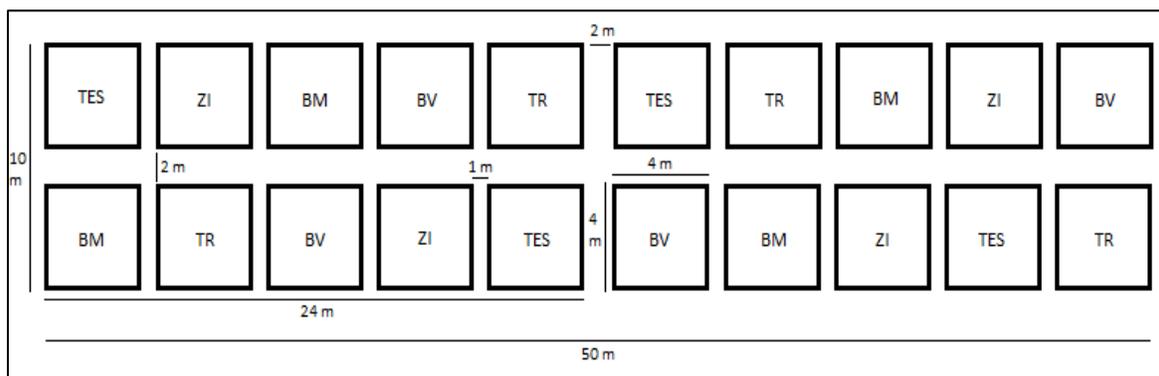
Figura 2. Proceso metodológico de la investigación.

3.5. Descripción del procedimiento

Para el desarrollo de la investigación se implementó un sistema parcelas divididas (unidades experimentales) completamente al azar, dentro de las cuales se encuentran instaladas las cuatro estrategias de conservación de suelo (tratamientos) y un testigo; se realizaron 4 repeticiones por tratamiento, para un total de 20 unidades experimentales (UE), incluyendo los testigos (Figura 3).

El área correspondiente a cada UE es de 16 m² (4 m de largo por 4 m de ancho), ubicando cada estrategia de conservación en el centro de cada una. El área libre se utilizó para el establecimiento de los cultivos de arveja (*Pisum sativum*), fríjol (*Phaseolus vulgaris*) y zanahoria (*Daucus carota*); en los testigos no se implementó estrategia de conservación, sin embargo, el espacio se distribuyó de tal manera que las densidades de siembra no se vieran afectadas con respecto a los demás tratamientos.

La implementación del cultivo se realizó en surcos en contra pendiente a través de curvas de nivel; obteniendo 6 surcos por UE. La distancia de siembra entre plantas en cultivo de fríjol y arveja fue de 0,25 m, depositando dos semillas de cada especie respectivamente. La siembra de la zanahoria se realizó de manera directa (al voleo). Para dar homogeneidad al sistema, el diseño e instalación de las unidades de investigación se realizó tomando como referencia una pendiente entre 22% y 24%. La pendiente del terreno se determinó por medio del uso del agro nivel tipo A y brújula geológica con clinómetro de precisión.



Dónde: **TES**: Testigo; **ZI**: Zanja de Infiltración; **BM**: Barrera Muerta; **BV**: Barrera Viva y **TR**: Terraza.

Figura 3. Sistema de unidades experimentales completamente al azar.

La información correspondiente a la precipitación incidente se recolectó por medio de un pluviómetro ubicado en el centro del área de estudio, teniendo en cuenta el fenómeno de ocurrencia.

La investigación se realizó en la finca Rio Chiquito, en un terreno con una pendiente promedio del 22%, para evitar la interferencia e influencia entre las UE, éstos se separaron por medio de zanjas, cuya función fue conducir el agua de esorrentía ajena al área de estudio fuera de las unidades de investigación; adicionalmente al final de cada unidad experimental se realizó la instalación de una zanja recubierta con polietileno, con el objetivo de conducir el volumen de agua escurrido y los sólidos arrastrados hacia un recipiente colector final, con capacidad de 20000 ml.

El volumen obtenido en cada recipiente colector se agitó con el fin de homogenizar la mezcla entre el agua escurrida y los sedimentos captados, del cual se obtuvieron muestras de 200 ml, las cuales fueron almacenadas en recipientes de 250 ml, para su posterior análisis en laboratorio.

3.6. Fase 1. Caracterización del área e instalación de prácticas de conservación

3.6.1. Caracterización del área de estudio

Por medio de una entrevista y recorrido por la finca con los propietarios, se realizó la ubicación y trazo del mapa del predio y del área de estudio, además del registro de información correspondiente a las áreas de interés, el historial de uso y manejo del suelo y la textura del suelo.

3.6.2. Análisis de precipitación histórica

Los registros de precipitación histórica se solicitaron al IDEAM, teniendo en cuenta la estación pluviométrica denominada GUASCA, que corresponde a la estación más cercana al área de estudio; identificada con el código 21205700, ubicada geográficamente a 4° 52' N de Latitud y 73°52' W de Longitud. Con el objetivo de analizar el comportamiento pluviométrico de la zona de estudio.

3.6.3. Construcción de Prácticas de conservación de suelos

Se realizó el trazado de curvas de nivel por medio del agronivel tipo A. Las curvas de nivel son fundamentales en la conservación de suelos, ya que a través de estas se construyen prácticas de manejo sostenible del mismo (Hesse-Rodríguez, 1994).

Inicialmente se estableció la línea base en la mitad del terreno, tomando como punto de partida la parte superior del área de estudio, el resto de la línea guía se estableció por el método de tanteo, por consiguiente, la distancia entre las curvas fue de 2 m. Luego se realizó el trazado de las curvas a través del terreno marcadas por medio de estacas de madera, finalmente se hizo la corrección de las curvas de nivel, siguiendo la metodología propuesta por Hesse-Rodríguez (1994).

3.6.3.1. Construcción de terrazas

El sistema de terrazas se realizó con base en la metodología de Hesse-Rodríguez (1994), planteada para la construcción de terrazas de base angosta. La construcción de una terraza implica un área de corte y área de relleno (Figura 3), de la mitad hacia arriba del ancho de la terraza se excava, la tierra excavada se deposita en la parte inferior de la misma formando el relleno. Los límites de corte de suelo y relleno de la terraza son determinados por las curvas de nivel establecidas a partir de la línea madre (ancho de la terraza). Finalizado el relleno de la parte inferior de la terraza se determinó el talud de la parte superior, de manera uniforme e inclinada. En el talud se implementó la siembra de los pastos rye grass (*Lolium multiflorum*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) para dar estabilidad.

Posteriormente se realizó el mejoramiento de la terraza, el cual consistió en la incorporación material orgánico disponible dentro del mismo lote (restos de cosecha – avena, y estiércol seco bovino). Finalmente, la terraza se cubrió con una capa delgada de restos de cosecha hasta la siembra de la misma, con el objetivo evitar la exposición directa del suelo removido a la precipitación o radiación solar. Quince días después se realizó la siembra de los cultivos de frijol, arveja y zanahoria.

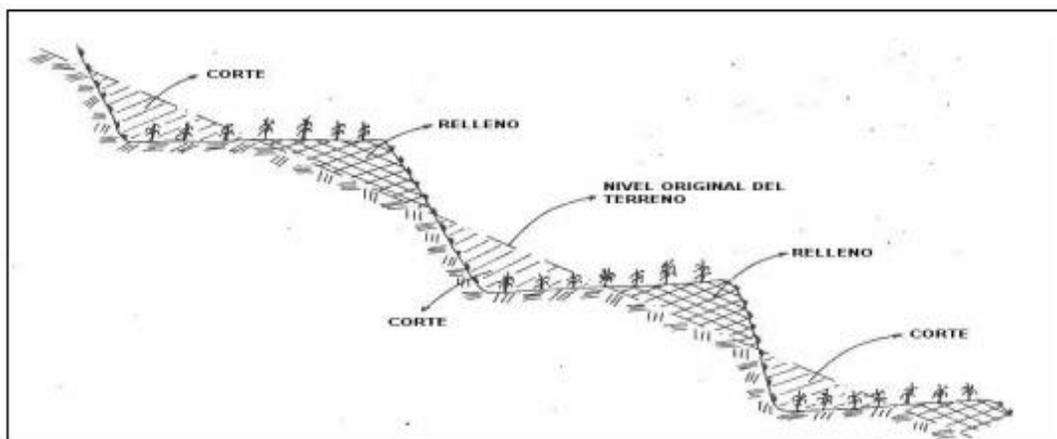


Figura 4. Dinámica de la construcción de sistema de terrazas Fuente: (FAO, 2000).

3.6.3.2. Construcción de Zanjas de Infiltración

La construcción de las zanjas de infiltración se realizó de forma transversal a la pendiente siguiendo la curva de nivel establecida, y siguiendo lo establecido por Pizarro et al. (2004) quien resalta que por lo general las zanjas son construidas con un ancho en la base entre 0,3 a 0,4 m. y un ancho en la superficie de 0,5 m. una profundidad variable entre 0,2 a 0,5 m, el largo de cada zanja de infiltración varía entre los 3 a 6 m.

Cada zanja de infiltración contó con un largo de 4 m, distancia con la cual cuenta cada UE, con una profundidad de 0,5 m y un ancho superior de 0,5 m. El suelo excavado se compacto en la parte inferior a la zanja, dentro de la misma zona del tratamiento, con el objetivo de no cortar la pendiente que presenta la UE.

El espaciamiento vertical entre zanjas se determinó siguiendo las curvas de nivel a partir de la línea base. Posteriormente a los quince días se realizó la implementación de los cultivos dentro de toda la UE.

3.6.3.3. Instalación de Barreras vivas y Barreras muertas

Para la implementación de las barreras vivas se toma como referencia la metodología planteada por Hesse-Rodríguez (1994).

Por medio de la curva de nivel se realizó un surco de 20 cm de ancho y 15 cm de profundidad, se incorporó compost, seguido se realizó la siembra de pasto comercial rye

grass, debido a que es un forraje de interés y alta implementación en la zona; por su elevado contenido nutricional, ciclo vegetativo relativamente corto y por ser un cultivo de corte.

La construcción de las barreras muertas se realizó siguiendo las curvas de nivel, el material utilizado fue madera seca, proporcionado por la finca. Al momento de la instalación se tuvo en cuenta la fijación de la madera al suelo y el menor espaciamiento entre el material empleado.

3.7. Fase 2. Evaluación de la Escorrentía Superficial y Pérdida de suelo por erosión

3.7.1. Estimación de volumen de agua escurrida por tratamiento

Para la medición de la escorrentía superficial se tuvo en cuenta el volumen de agua depositado en los recipientes colectores al final de cada UE, en los días que se presenciaron precipitaciones durante el ciclo de vida de los cultivos establecidos (4 meses), con respecto a la precipitación registrada por medio del pluviómetro correspondiente a cada incidencia de lluvia.

Con la información obtenida de la precipitación medida directamente del pluviómetro, se determinó el volumen escurrido por UE, se tuvo en cuenta el área en metros cuadrados, la cual se multiplico por el registro de precipitación del pluviómetro en milímetros (ecuación 1), obteniendo el volumen en litros.

$$V = P * A \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P= Precipitación en mm

A= Área en metros cuadrado m²

V= Volumen de agua escurrido en litros

3.7.2. Análisis en laboratorio

Una vez obtenidas las alícuotas en campo, se llevaron al laboratorio para realizar la separación del material sólido y líquido, lo cual se llevó a cabo por medio de un tamiz de suelos de 45 μ .

Posteriormente el material sólido se depositó en cajas Petri, las cuales fueron llevadas al horno por un periodo de 12 horas a 120 °C. Al finalizar el periodo de secado se realizó el pesaje de los sedimentos y su posterior registro en la base de datos. Finalmente, la información registrada se extrapólo para determinar las pérdidas de suelo en Kg por ha.

3.7.3. Análisis estadísticos

Se implementó un diseño con UE completamente al azar, el análisis estadístico ANOVA se realizó en el programa SPSS versión 20, a partir de los resultados obtenidos en campo, para establecer las diferencias significativas entre los tratamientos establecidos en la investigación con relación a la pérdida de agua de escorrentía y erosión del suelo aplicando un análisis de varianza de Bonferroni. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación en Excel (Regresión Lineal, exponencial, logarítmica, de segundo grado), con relación al agua de escorrentía y pérdida de suelo frente a la precipitación obtenida durante la investigación.

Las variables que se evaluaron durante la investigación corresponden a:

- Precipitación en milímetros.
- Agua escurrida en milímetros.
- Sedimentos en Kilogramos.

3.8. Fase 3. Evaluación de la percepción sobre la conservación del suelo

Con el objetivo de conocer el interés por la implementación de prácticas de conservación de suelos en la zona, se implementó una encuesta a los propietarios del predio y a personas aledañas (10 personas encuestadas), interesadas en temas afines a la investigación (Anexo7).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del área de estudio e instalación de prácticas de conservación

El lote donde se llevó a cabo la investigación pertenece a la finca Rio Chiquito (Figura 5), cuenta con una pendiente promedio del 22%, en la tabla 1 se describen las principales características de uso y manejo del suelo dado antes de la implementación de sistemas de conservación de suelos. El lote presenta un suelo franco arcilloso (IGAC, 2000), la capa superficial se ha visto afectada por problemas erosivos especialmente en la parte superior del terreno, ya que se puede apreciar una lámina limitada de materia orgánica y vegetación. En general la zona está enfocada a la producción lechera, por ello después de cada pastura los lotes son intervenidos mecánicamente para acelerar la producción de nuevo forraje, los agricultores señalan que la intervención de los lotes influye en que los forrajes ya establecidos tengan un mejor desarrollo en el nuevo ciclo de vida de las gramíneas principalmente. Sin embargo, la implementación de maquinaria pesada en los terrenos aumenta la susceptibilidad a los procesos erosivos.



Figura 5. Localización del lote de estudio. Tomado de Google Earth 2017, modificado por Autores (2017)

Tabla 1. Caracterización del uso y manejo del suelo.

Área Total de la Finca	Área Del lote	Cultivos anteriormente establecidos	Cultivos implementados	Mecanización		Insumos		Tipo de semillas utilizadas	Textura del suelo
				Labor	Tipo de Maquinaria	Nombre	Origen		
12,8 ha	0,32 ha	Cultivos forrajeros	Avena	Siembra	Tractor	Gallinaza	Comercial	Comercial	Franco Arcilloso
				Fertilización	Manual				
				Poda	Guadaña				
			Rye grass	Siembra	Tractor				
				Fertilización	Manual				
		Cultivos transitorios	Maíz	Siembra	Tracción animal	Gallinaza	Comercial	Comercial	
				Aporque	Manual (Azadón)				
				Abonamiento	Manual				
			Fríjol	Cosecha	Manual				
				Siembra	Tracción animal				
				Aporque	Manual (Azadón)				
		Cultivos transitorios	Haba	Abonamiento	Manual	Gallinaza	Comercial	Comercial	
				Cosecha	Manual				
				Siembra	Tracción animal				
			Arveja	Aporque	Manual (Azadón)				
				Abonamiento	Manual				
				Cosecha	Manual				

Fuente: Autores (2017)

Siendo la precipitación un factor relevante en los procesos erosivos de un terreno, se caracterizó el historial de incidencia de lluvias de la zona. Con base en el registro meteorológico solicitado al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), a partir de los promedios anuales de precipitación (Figura 6) se evidencia el aumento de la cantidad de lluvia a lo largo de los 40 años de análisis en un 17%; el promedio histórico más alto se presentó en el año 2011 con 1224mm, seguido por el año 2010 con 1107mm, mientras que el registró más alto en años anteriores se había presentado con 1105mm de precipitación (año 1979). De otra parte, los periodos de bajas precipitaciones se están presentando con mayor frecuencia; entre 1983 y 1997 se presentó un intervalo de precipitación de 14 años, entre 1997 y 2007 el intervalo correspondió a 10 años, mientras que para el periodo entre 2007 y 2015 fue de 8 años.

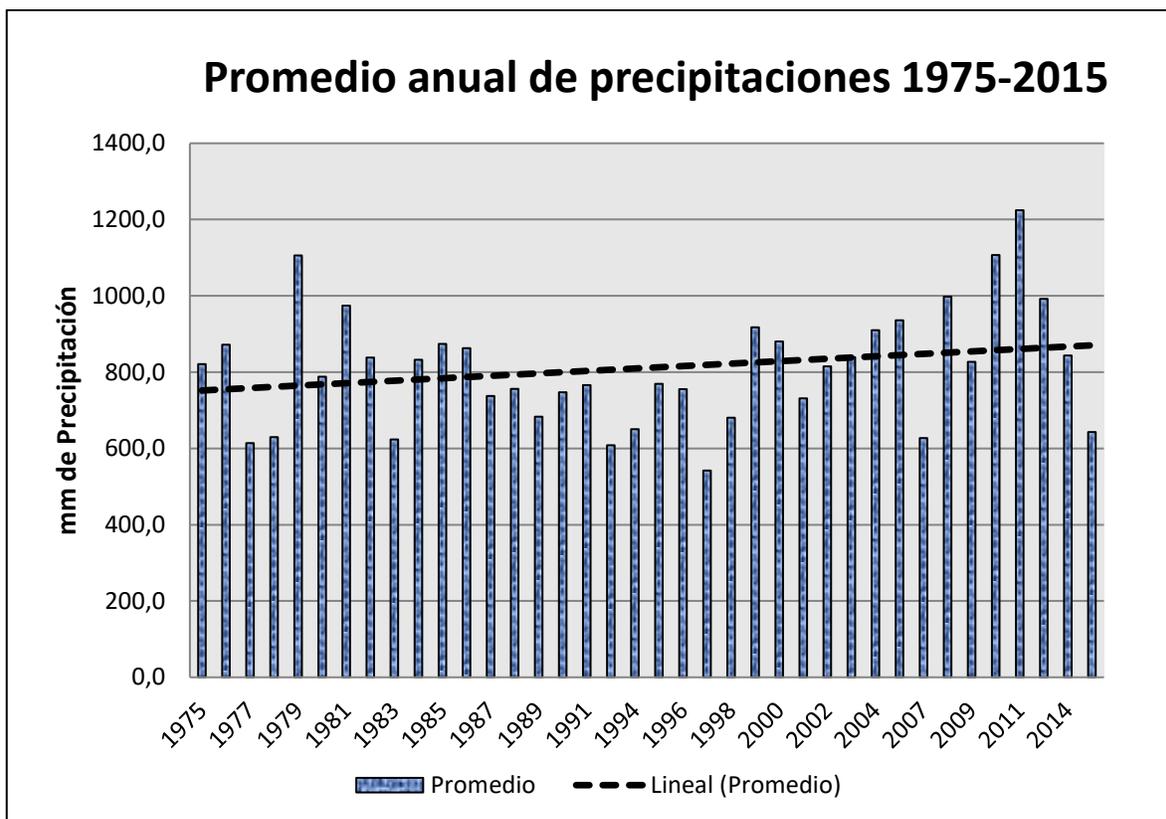


Figura 6. Análisis de precipitación promedio anual en el periodo 1975-2015 Fuente: Autores (2017) a partir de registros del IDEAM.

Por otro lado, en la región se verifica la mayor influencia de precipitación en los periodos abril – mayo y octubre – noviembre, con promedios de 85mm – 94mm y 82mm –

87 mm de precipitación respectivamente (Figura 7), enero y diciembre se presentan como los meses más secos con 31mm y 48mm.

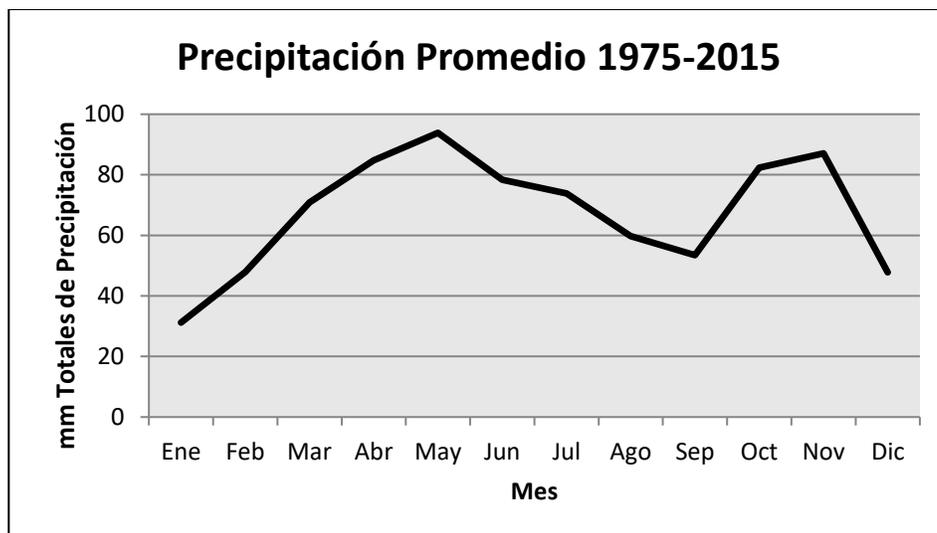


Figura 7. Precipitación total mensual histórica Fuente: Autores (2017) a partir de registros del IDEAM.

4.2. Evaluación de la escorrentía superficial

En comparación con los registro de la precipitación histórica semanal 1975 – 2015 y los datos obtenidos durante la investigación (Figura 8), en el mes de diciembre se registraron 6 mm de lluvia, lo cual representa un 87,8% de incidencia de lluvia por debajo del promedio el cual es de 48 mm (Figura 7). Caso similar se presenta en el mes de abril donde las precipitaciones durante el estudio no superaron los 32mm, sin embargo históricamente el promedio es de 85mm, por lo tanto un 37,7% por encima de lo registrado en la investigación, en las semanas 1 y 2 las precipitaciones fueron más bajas con tan solo 8 mm y 11mm de lluvia respectivamente. En la semana 2 del mes de febrero se registró la mayor precipitación diaria durante toda la investigación con 33mm (Anexo 4), se obtuvieron 81mm por encima del promedio histórico semanal, sin embargo, en la primera semana la incidencia fue del 0%. En el mes de marzo se registraron 109 mm de lluvia, durante las semanas 3 y 4 se obtuvieron registros de 44 mm y 49 mm, y aunque son superiores a los promedios por 26 mm en ambos casos, la dinámica del comportamiento de la precipitación en estas semanas es similar a los datos históricos.

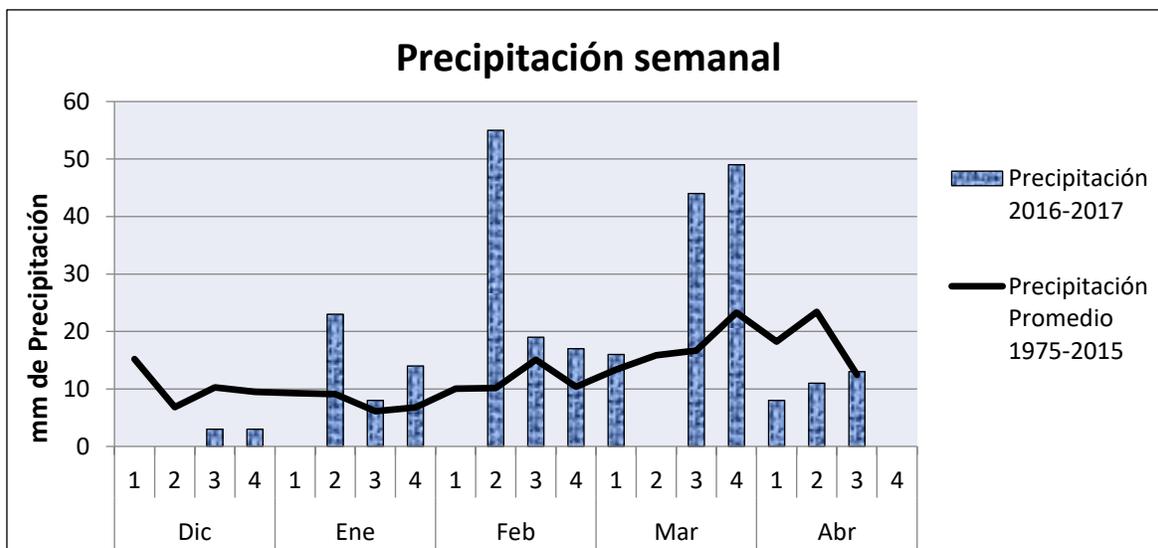


Figura 8. Precipitación promedio semanal 1975-2015 a partir de datos del IDEAM y precipitación semanal durante la investigación Fuente: Autores (2017)

Durante el estudio se presentaron lluvias en 23 días (Anexo 4), la precipitación total registrada por medio del pluviómetro fue de 283mm, el periodo de investigación transcurrió durante el ciclo fenológico de los cultivo establecidos (Arveja, Fríjol y Zanahoria).

En la tabla 2 se presentan las pérdidas de agua por escorrentía bajo los diferentes sistemas de conservación de suelo establecidos, los sistemas donde se presentó la mayor escorrentía fueron los testigos con 15,4mm y las barreras vivas con 15,4mm, mientras que el sistema donde se verifico la menor perdida de agua fue las zanjas de infiltración con 13,8mm, lo que concuerda con la teoría de Pizarro et al. (2008); Cotler, Cram, Marínez & Bunge (2015) y Flores (2015), quienes a través de sus estudios concluyen en la importancia de las zanjas de infiltración para el control de la escorrentía, ya que favorece el proceso de la infiltración y captura de agua, además favorece el crecimiento de la vegetación y los cultivos establecidos cerca de las zanjas.

En los tratamientos con barreras muertas, se registraron pérdidas de agua por escorrentía de 15,0mm, por lo cual es el tercer sistema donde más se presenta escorrentía, resultado que se atribuye a la falta de unión entre unidades de madera implementados en la construcción del sistema de barreras muertas. Sin embargo, según la FAO (2005) ésta es una

práctica que contribuye con la humedad del suelo, es implementada para reducir la velocidad del agua y a su vez reducir la longitud de la pendiente de un terreno.

Tabla 2. Pérdidas de agua de escorrentía superficial para 283 mm de precipitación

Tratamiento	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Promedio mm
	Agua escurrida mm	Agua escurrida mm	Agua escurrida mm	Agua escurrida mm	
Barrera Viva	15,3	14,9	16,2	15,3	15,4
Barrera Muerta	14,4	15,1	15,1	15,2	15,0
Zanja Infiltración	13,6	13,8	14,3	13,4	13,8
Terraza	13,3	14,4	14,5	14,3	14,1
Testigo	15,4	16,1	15,0	15,2	15,4

Rep.: Repetición del tratamiento.

Fuente: Autores (2017)

Los tratamientos con barreras vivas presentaron la mayor pérdida de agua de escorrentía principalmente en el mes de marzo con 23,7mm y febrero con 21,3mm, lo que corresponde a los meses con la mayor influencia de lluvias con 109mm y 91mm respectivamente (Figura 9). Las pérdidas de agua en estos tratamientos fueron mayores en comparación con las barreras muertas por 0,5mm de diferencia. Situación asociada a la remoción de suelo y siembra reciente del material vegetal, por lo cual no se contaba con la formación de una barrera y por ello la retención de agua no se pudo observar.

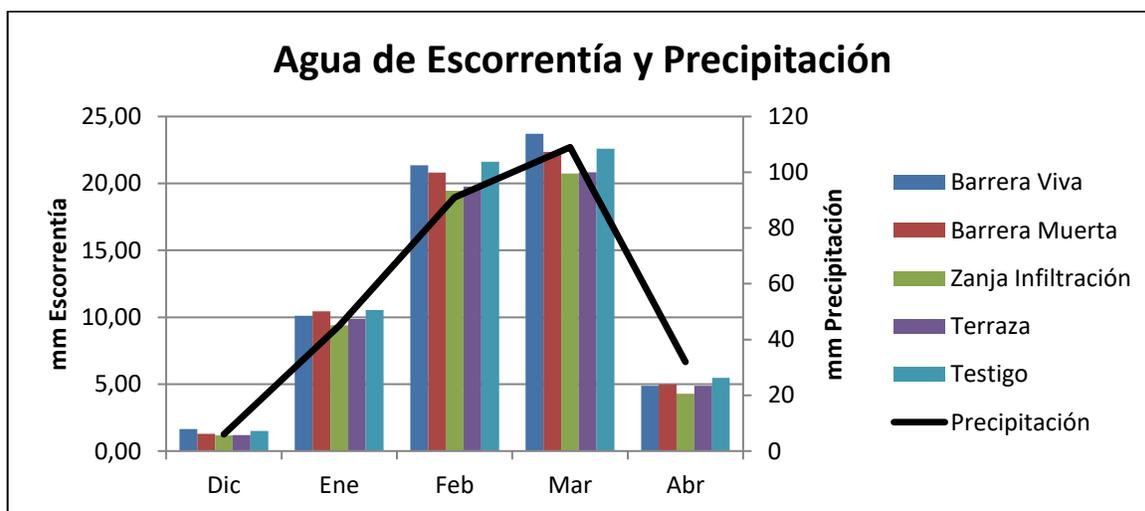


Figura 9. Pérdida de agua de escorrentía por mes Fuente: Autores (2017)

De otro lado, la pérdida de agua de escorrentía se encuentra directamente relacionada con la precipitación, a mayor precipitación mayor escorrentía. Sin embargo, la escorrentía no solo está relacionada con la cantidad de lluvias en un lugar. Según Quiroz & Hincapié (2007), el flujo de agua en un terreno está determinado por varios factores entre ellos el total de agua precipitada; pero no solo depende de la cantidad sino también de la intensidad, frecuencia y ocurrencia de la lluvia, además de las propiedades físicas del suelo. Por otro lado Flanagan et al. (1987) citado por Álvarez & Fernández (2009), resalta que en los patrones de lluvias es donde se encuentran los efectos más significativos sobre la escorrentía, la pérdida total de suelo y la distribución de las partículas, siendo la intensidad el factor clave, ya que a mayor intensidad mayor es la presencia de volumen de agua de escorrentía.

La intensidad de la lluvia es considerada como la característica de mayor peso en temas de escorrentía, ya que la llegada al suelo de una gran cantidad de agua en un periodo de tiempo corto evita el adecuado proceso de infiltración (León, 2001). Por lo cual, los suelos arenosos se ven favorecidos por su alta capacidad de infiltración que corresponde a un intervalo entre 25 a 250mm/h, frente a suelos arcillosos donde el rango oscila entre 0,1 y 1mm/h; los suelos franco arenosos presentan una capacidad de infiltración entre 13 a 76mm/h, suelos francos de 8 a 20 mm/h, suelos franco arcillosos entre 2,5 a 15mm/h y los arcillo arenosos entre 0,3 y 5mm/h (Cely, 2010). En este sentido, los suelos intervenidos durante la investigación (Franco arcillosos) cuentan con una capacidad de infiltración entre 2,5 y 15mm/h, lo que según la clasificación de la velocidad de infiltración realizada por el IGAC (1990), citado por Jiménez & Rodríguez (2008), se presentan con infiltraciones entre moderadamente lenta y lenta; lo que significa que la zona esta propensa a alto riesgo de pérdida de agua por escorrentía durante precipitaciones con alta intensidad.

Según el análisis estadístico (Anexo 5) no se encontró diferencias significativas entre repeticiones de mismos tratamientos, sin embargo, si se hallaron diferencias entre un tratamiento y otro (Tabla 3). Los tratamientos que presentaron una mayor pérdida de agua de escorrentía fueron los testigos, barreras vivas y barreras muertas respetivamente, sin embargo las pérdidas de éstos fueron similares estadísticamente, ya que no se encontraron diferencias significativas; caso similar entre las terrazas y las zanjas de infiltración con

menores pérdidas de agua. Sin embargo, se evidencia una diferencia entre las terrazas y zanjas de infiltración con el resto de los tratamientos.

Por otro lado el análisis de regresión de la escorrentía frente a la precipitación, arrojó como resultado una ecuación lineal con coeficiente de correlación R^2 superior al 90% (Figura 10). Sin embargo las diferencias entre los tratamientos al igual que en el análisis de la tabla 3 no es evidente, excepto en el caso de las zanjas de infiltración y terrazas, donde se observa una mayor efectividad en el control de la pérdida de agua de escorrentía.

Las barreras vivas presentaron pérdidas de 15,42mm, resultado estadísticamente igual que las parcelas testigo con 15,43mm, lo que representa la poca efectividad contra la escorrentía superficial (Tabla 3). Sin embargo, la poca efectividad de las barreras es contribuida al tipo de material vegetal y al poco tiempo (15 días) transcurrido entre la siembra y la evaluación de su efectividad. Caso similar a lo expuesto por Alvarado, López & Castillo (2010) durante la investigación sobre las *Pérdidas por erosión hídrica en diferentes sistemas de papa*, donde se obtuvo, que bajo la implementación de mora de castilla (*Rubus glaucus*) efectuada como barrera viva, se presentó la mayor pérdidas de suelo, sin embargo este cultivo se presentaba en el estado inicial de crecimiento y por lo tanto la densidad de la barrera era muy baja, lo cual según el autor fue lo que pudo causar una función inesperada en el control de escorrentía. Por otro lado el pasto rye grass (*Lolium multiflorum*), junto con el pasto brasilero (*Phalaris aquatica*) según Carrasco & Riquelme (2012), se consideran dentro de las herbáceas que presentan mejores resultados como barrera viva en la conservación y recuperación de suelos, ya que son caracterizados por presentar un sistema radicular denso. Por lo cual la baja efectividad de las barreras en el control de la escorrentía está relacionado en éste caso al insuficiente desarrollo del sistema radicular de rye grass.

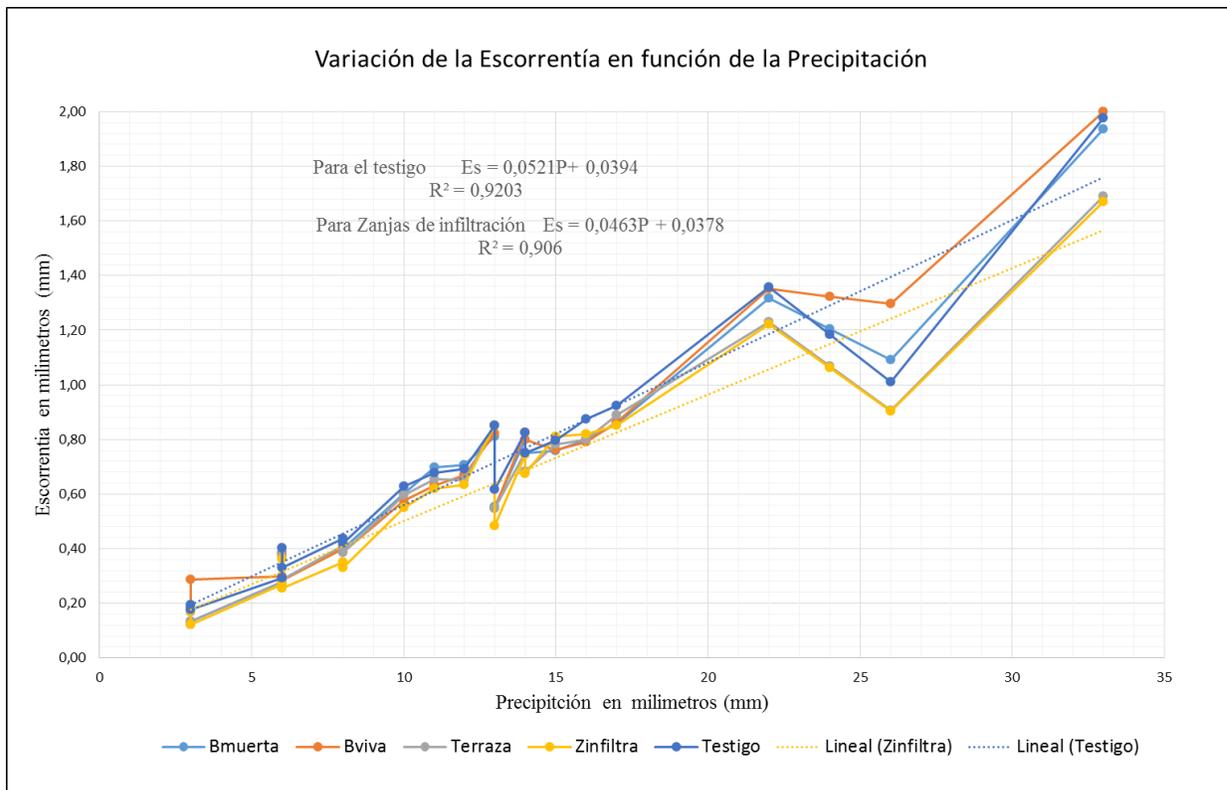


Figura 10. Variación de la escorrentía superficial en función de la precipitación

Fuente: Autores (2017)

Tabla 3. Análisis estadístico de escorrentía para 283 mm de precipitación

Tratamiento	Pérdidas en mm	Efectividad frente al testigo
Barrera Viva	15,4	a
Barrera Muerta	15,0	a
Zanja Infiltración	13,8	b
Terraza	14,1	b
Testigo	15,4	a

a: menor efectividad; b: mayor efectividad. Valores con la misma letra misma efectividad

Fuente: Autores (2017)

4.3. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión

En las parcelas testigo se recolecto la mayor cantidad de sedimentos, 3757kg/ha (Tabla 4), por lo que se puede evidenciar la importancia de la implementación de algún sistema de conservación en los terrenos de ladera contra procesos erosivos. Al igual que en la pérdida de agua, el sistema donde se presenta mayor efectividad frente a la pérdida de sedimentos por erosión son las zanjas de infiltración con 458kg/ha. Desde el inicio del estudio la efectividad de este sistema se pudo evidenciar, por lo cual se considera como el sistema más efectivo contra la erosión. Lo que coincide por lo descrito por Flores (2015), donde destaca la efectividad de las zanjas de infiltración y resalta que entre mayor es el área de implementación de zanjas, mayores son los sedimentos capturados por dichas prácticas.

Tabla 4. Pérdidas de sedimentos por erosión hídrica para 283 mm de precipitación

Tratamiento	Rep. I	Rep. II	Rep. III	Rep. IV	Promedio kg/ha
	Sedimentos kg/ ha	Sedimentos kg/ ha	Sedimentos kg/ ha	Sedimentos kg/ ha	
Barrera Viva	1657	1394	1777	1669	1624
Barrera Muerta	1587	1243	1727	2165	1680
Zanja Infiltración	490	363	484	495	458
Terraza	1621	1540	1582	2165	1727
Testigo	3240	3892	3908	3988	3757

Rep.: Repetición del tratamiento.

Fuente: Autores (2017)

Sin embargo, Cotler et al. (2015), difiere en el concepto de zanjas de infiltración como técnica de conservación de suelo, debido a que se presentan algunos impactos negativos en la calidad del mismo, principalmente por la exposición de la capa excavada a procesos erosivos por acción de la lluvia y el viento. Además agrega que a profundidad de 40 cm se encuentra el 50 % del carbono orgánico edáfico, por lo que la exposición a sol y agua puede causar efectos de mineralización. Siendo el carbono orgánico una fuente limitada en suelos degradados con poca vegetación por pastoreo o deforestación, razón por la cual es destacada toda práctica de conservación de suelo que busque recuperar, mantener y/o

incrementar el contenido de materia orgánica; acciones que con las zanjas de infiltración no se cumplen. Por lo tanto una de las conclusiones en la que hace énfasis este autor, es que las zanjas de infiltración no mejoran la calidad de los suelos, así, una de sus recomendaciones es la implementación de esta técnica, con el fin de controlar la escorrentía antes de mejorar el suelo.

Pero por otro lado, Carrasco & Riquelme (2003), mencionan que para evitar la pérdida del suelo excavado durante el proceso de construcción de zanjas de infiltración, se recomienda la implementación de especies herbáceas sobre los camellones formados a partir de la capa de suelo removido. Adicionalmente Pizarro et al. (2008), resalta que las zanjas de infiltración en combinación con la implementación de cultivos, permite la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación, además de presentar una alta influencia en el crecimiento de las plantaciones. Mismo autor que destaca un estudio realizado en Bolivia por un periodo de dos años evaluando zanjas de infiltración, afirmando como conclusión la importancia de ésta práctica en los procesos de control no solo de la escorrentía, sino igualmente de la erosión debido a la cantidad de sedimentos encontrados a lo largo de la investigación dentro de la zanja de infiltración.

Teniendo en cuenta que la erosión hace referencia al arrastre o desprendimiento de partículas del suelo causados por el agua y el viento (León, 2001), la conservación del suelo comprende un conjunto de prácticas aplicadas para promover y preservar la calidad edáfica y productiva del suelo, enfocada a evitar la degradación, salinización o erosión del mismo (Müller & Restrepo, 1999); (Castilla, 1996), citados por Zavala, Palma, Fernández, López & Shirma (2011), siguiendo tres principios fundamentales: favorecer la cobertura vegetal del suelo, mejorar la infiltración del agua, y reducir o evitar el escurrimiento superficial y la pérdida de partículas sólidas del suelo (Carrasco & Riquelme, 2003).

La relación de la intensidad de las lluvias en la pérdida de suelo es aún más evidente que con la escorrentía (Figura 11), ya que siendo el mes de marzo el de mayor precipitación, es en febrero donde hubo una mayor pérdida de sedimentos con 16162 kg/ha frente a 15603 kg/ha en marzo, además es el mes donde se presentaron las mayores precipitaciones tanto por semana (55mm) como por día (33mm).

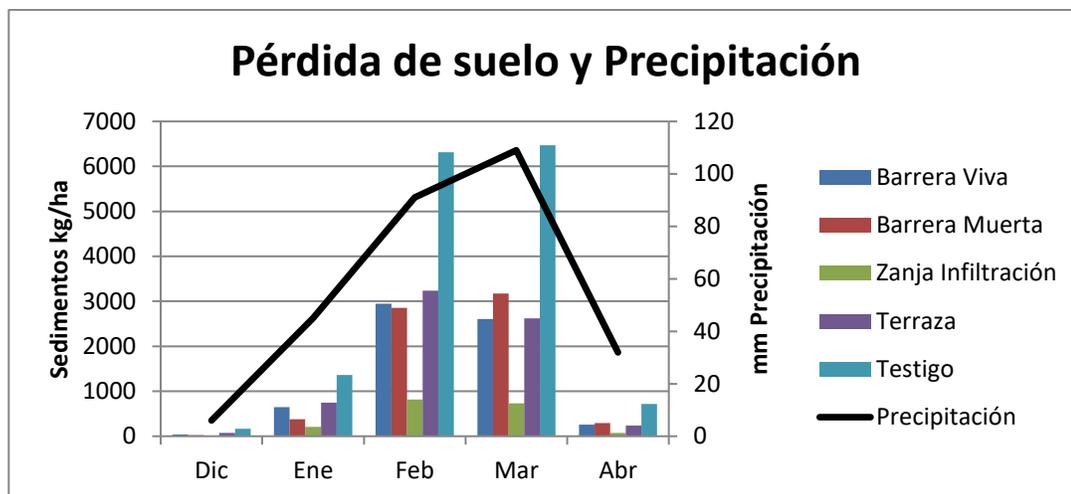


Figura 11. Pérdida suelo por erosión por mes Fuente: Autores (2017)

Según Álvarez & Fernández (2009), a intensidades de 30 mm/h las pérdidas de suelo por escorrentía están entre los 2228 kg/ha, mientras que a 10 mm/h las pérdidas pueden ser de 626 kg/ha. Los valores descritos por el autor verifican la dinámica de comportamiento entre la relación intensidad – pérdida de suelos, sin embargo el mismo autor señala que estos valores son relativos entre investigaciones, ya que las pérdidas tanto de suelo como de agua por escorrentía dependen de otros factores, entre ellos el tipo de suelo y las condiciones en que se encuentra establecidas las prácticas de conservación. En el estudio realizado se obtuvieron pérdidas de suelo de 3757 kg/ha en los testigos, lo cual se atribuye a las características de los suelos presentes en la investigación, las cuales corresponden a una textura franco arcillosa.

En los dos últimos meses de estudio las pérdidas de suelo en las diferentes UE fueron disminuyendo, hecho que se atribuye a la influencia de una mayor estabilidad de los tratamientos, además de la propagación de arvenses y la proliferación de pasto kikuyo como cobertura, en consecuencia del manejo de los cultivos bajo labranza mínima.

El pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) está caracterizado como una de las especies gramíneas más comunes y mejor adaptadas a zonas de clima frío, por la profundidad de sus raíces y la fácil propagación es considerado dentro de los pastos más útiles en procesos de control de erosión. El sistema radicular llega a formar céspedes densos y la longitud de sus raíces puede alcanzar hasta los 2 m (Suárez, 2001). Por esta misma razón también se

considera una especie de cuidado en presencia de cultivos de producción, ya que puede invadir su espacio y evitar el adecuado crecimiento y desarrollo de dichos cultivos. El arrastre de sedimentos en suelos descubiertos según Álvarez & Fernández (2009), en el estudio realizado sobre la *Evaluación de la erosión con diferentes coberturas al impacto de lluvias simuladas*, fue de 1839 kg/ha, bajo cobertura natural de 1179 kg/ha y en cobertura con kikuyo el promedio fue de 1019kg/ha, y concluye que las raíces de este tipo de cobertura contribuyen a la estabilidad estructural del suelo, favorece la infiltración del agua e influye en la estabilidad de los agregados del mismo.

Por otra parte el manejo de los cultivos bajo labranza mínima influye en la infiltración de agua e incorporación de materia orgánica, reduce las pérdidas de suelo y agua (Hesse-Rodríguez, 1994). Además, dentro de los principios de este tipo de labranza está el mantener después de la siembra una cubierta de al menos el 30% de la superficie del suelo, con residuos de cosechas anteriores o coberturas naturales protectoras (FAO, 2000).

Los sistemas de barreras muertas en el mes de marzo presentaron la mayor pérdida de suelo la cual fue de 3175 kg/ha, sin embargo, en febrero está por debajo de los valores de las barrera vivas y los sistemas de terrazas. Las barreras muertas son implementadas en la mayoría de los casos para el control de cárcavas (Suarez, 2001). Sin embargo, en República Dominicana son la técnica de conservación que más ha sido promovida a través de proyectos enfocados en la conservación de suelos, el material más utilizado para la construcción de ésta técnica son restos vegetales. La función de los restos vegetales como barrera es la de disminuir la longitud de la pendiente del terreno, lo que a su vez disminuye la velocidad del agua durante las lluvias fuertes y por ende la pérdida de suelo es menor (May, 2011).

El promedio más alto de pérdida de sedimentos se presentó en los en testigos con 3757kg/ha (Tabla 5), comportamiento estadísticamente diferente a los demás tratamientos (Anexo 6); las zanjas de infiltración registraron la pérdida de sedimentos más baja con 485kg/ha y estadísticamente presenta diferencias significativas con las demás prácticas de conservación. Razón por la cual se considera como la más efectiva en control de procesos erosivos. Entre los sistemas de terrazas, barreras vivas y barreras muertas no se encontró diferencias significativas, por lo cual la efectividad de estos tratamientos es similar.

Este comportamiento, adicionalmente se puede observar a través del análisis de regresión sobre la cantidad de sedimentos en función de la intensidad de las precipitaciones dadas durante la investigación (Figura 12), en donde se obtiene como resultado una función de segundo grado con un coeficiente R^2 superior al 95% en todos los tratamientos. Sin embargo frente al testigo se destaca el efecto de las zanjas de infiltración y a la vez se aprecia el comportamiento similar en el control de la remoción de sedimentos en los tratamientos de barreras vivas, barreras muertas y terrazas.

Y finalmente a partir de la estimación de remoción de suelo en función a la precipitación con base en la ecuaciones encontradas para cada uno de los tratamientos (Figura 13), se verifica claramente la contribución de las diferentes prácticas de conservación implementadas en la investigación frente al control de la erosión del suelo; igualmente se destaca la efectividad de las zanjas de infiltración sobre los demás tratamientos.

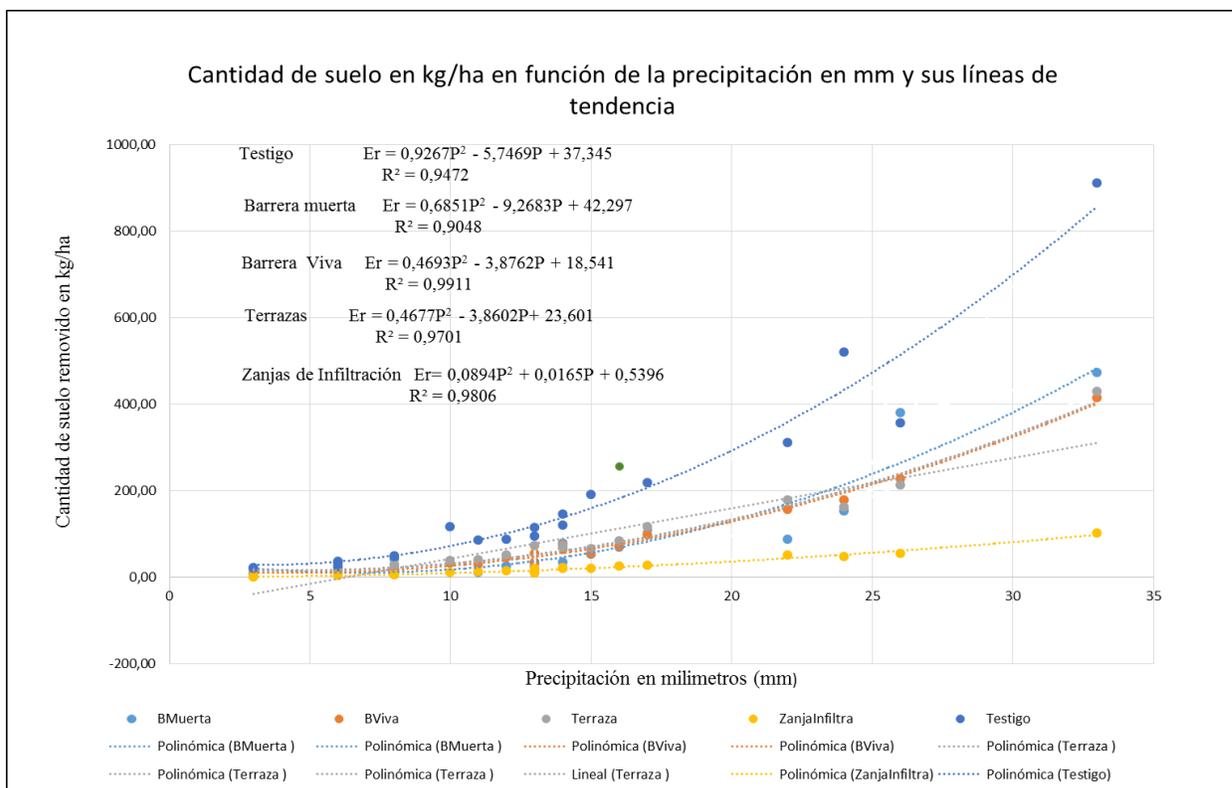


Figura 12. Cantidad de suelo removido en función de la precipitación Fuente: Autores (2017)

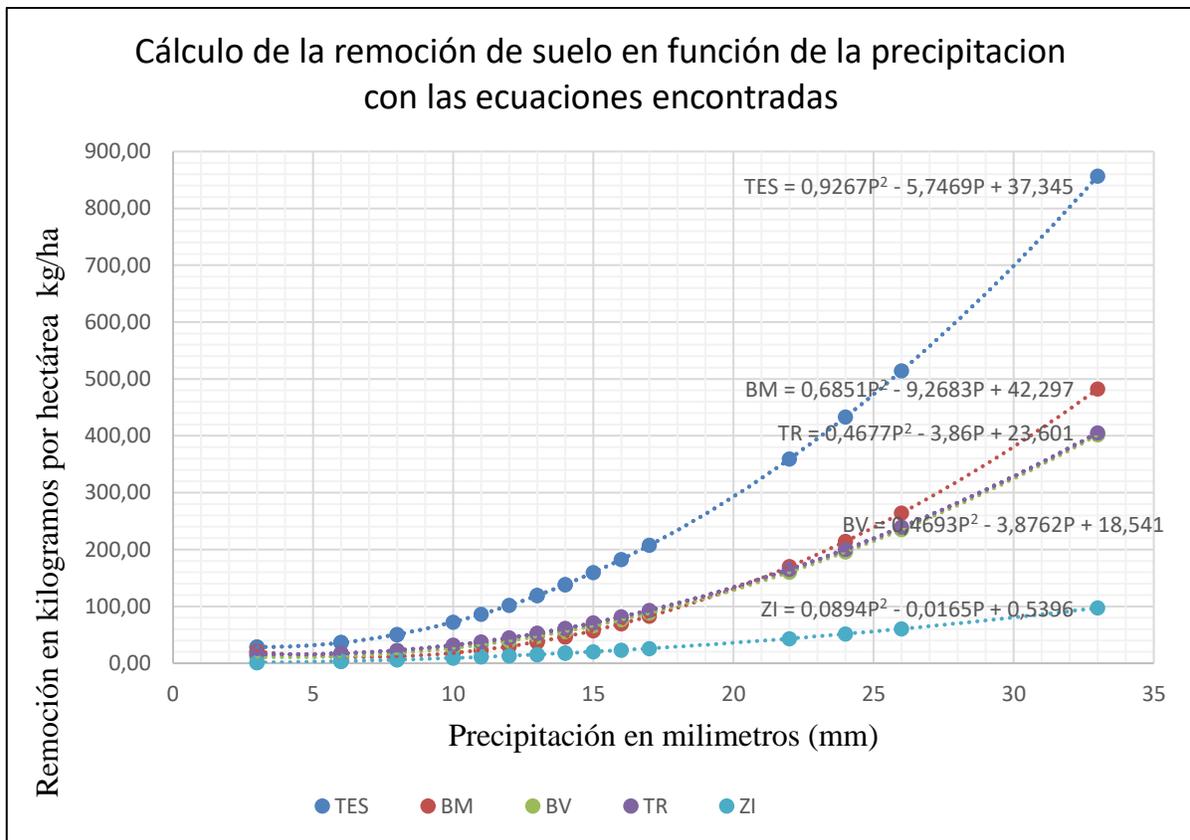


Figura 13. Remoción del suelo en función de la precipitación a partir de las ecuaciones encontradas Fuente: Autores (2017)

Tabla 5. Análisis estadístico de pérdida de suelo para 283 mm de precipitación

Tratamiento	Pérdidas kg/ha	Efectividad frente al testigo
Barrera Viva	1624	a
Barrera Muerta	1680	a
Zanja Infiltración	458	b
Terraza	1727	a
Testigo	3757	

a: menor efectividad; b: mayor efectividad. Valores con la misma letra misma efectividad.

Fuente: Autores (2017)

Los sistemas de terrazas son considerados dentro de las alternativas que presentan mayor efectividad en procesos de control de erosión, pese a esto en la investigación fue la segunda práctica que presentó la mayor pérdida de sedimentos con 1727kg/ha. Esta contrariedad se atribuye a la poca estabilidad estructural con la que contaban las terrazas, debido a su corto tiempo de instalación al momento del registro de información. Sin embargo a través de los registros del Anexo 4, se puede verificar que a medida que transcurre el tiempo de la implementación de la terraza, mayor es su estabilidad y por ende mayor su efectividad.

En la evaluación de cuatro sistemas de manejo del suelo realizado por Francisco et al. (2006), los cuales correspondían a Terrazas manejadas con tracción animal, Terrazas manejadas con métodos mecánicos, Labranza de conservación y Labranza tradicional, los resultados indican la efectividad de la Terraza con tracción animal seguida por la Labranza de conservación; sin embargo, es de destacar el periodo de tiempo de la investigación el cual corresponde a 8 años.

Los sistemas de terrazas construidos y planificados correctamente disminuyen considerablemente las pérdidas de suelo por erosión, según estudios realizados por el Instituto Agronómico de Paraná (1984) citado por la FAO (2000), en prácticas de conservación bajo terrazo es posible la reducción de las pérdidas de suelo hasta en un 50%, independientemente de los cultivos implementados en el sistema. No obstante, su eficiencia también depende de la combinación de otras prácticas de conservación como la siembra en curvas de nivel, siembra en fajas o la conservación de la cobertura del suelo (FAO, 2000).

Las barreras vivas presentan un comportamiento similar a las terrazas y barreras muertas, lo que también es atribuido a la estabilidad y adaptabilidad del material vegetal a la zona, con pérdida de suelo de 1624 kg/ha (Tabla 5), sin embargo las barreras vivas son consideradas como técnica de conservación y estabilización de suelos que a largo plazo reducen las pendientes del terreno, ya que a través del tiempo van formando pequeñas terrazas, su eficacia en el control de la erosión depende de la especie vegetal a implementar (Carrasco & Riquelme, 2012), al igual que la pendiente que se va trabajar, ya que en terrenos con poca inclinación las barreras vivas pueden cubrir satisfactoriamente el terreno, sin

embargo en sistemas de ladera lo más recomendable es la combinación de esta técnica con otro tipo de estructura de conservación de suelo (Hesse-Rodríguez, 1994).

De otro lado, se deben contemplar algunos parámetros previos a la implementación de una barrera viva, como la fácil propagación, un follaje frondoso y un sistema radicular abundante. Para mejores resultados al momento de la siembra de la barrera viva la plántula ya debe presentar un avanzado desarrollo en su sistema radicular (Carrasco & Riquelme, 2012). Además, Andrade & Rodríguez (2002) hacen referencia a que en la implementación de barreras vivas por lo general, la siembra de las especies se realiza de forma asexual y con varios meses de anticipación a la toma de datos de una investigación. En su estudio realizado sobre *la eficacia de las barreras vivas como sistema de conservación de suelos en ladera en épocas lluviosas en Venezuela*, en suelos con pendientes entre el 15 y 20%, la siembra de las especies se realizó 10 meses antes de empezar las evaluaciones, además evaluaron un sistema con barreras vivas ya establecidas. La pérdida promedio de suelo en un tratamiento ya establecidos con Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) (10 años) fue de 0,013 t/ha, y en tratamientos con 10 meses de siembra de la misma especie fue de 1,713 t/ha. En general todo el material vegetal (5 especies) que evaluaron en la investigación presentaron resultados favorables, y la conclusión a la que llegan estos autores es que entre mayor sea el tiempo de establecimiento de la barrera viva mayor es la efectividad, debido a la estabilidad y afianzamiento del sistema radicular de las especies al suelo.

En el departamento de Nariño, una de las especies más utilizadas como barrera viva es el Pasto Brasileiro (*Phalaris sp.*) el cual presenta mejores resultados a favor de la conservación de suelos; con pérdidas promedio de 164,55 kg/ha debido a su capacidad de sellado que tiene sobre el suelo, la función principal es interrumpir el flujo de agua a través de la pendiente y disminuir la pérdida de suelo. Dentro del mismo estudio se hace referencia a otras características, como la efectividad contra la erosión y escorrentía desde sus primeros estados de crecimiento (Alvarado, López & Castillo, 2010).

4.4. Evaluación de la percepción sobre la conservación del suelo

A partir de la información obtenida por medio de la implementación de la encuesta, se presenta el análisis sobre la percepción de la comunidad frente a las prácticas de conservación de suelos y las limitantes al momento del establecimiento de las mismas.

Según datos estadísticos presentados por el DANE (2014), en Guasca el área de suelo con fines agropecuarios es de 20018 ha, lo que representa el 55% de la extensión total de guasca (36323,6 ha), el área del territorio restante está distribuido en áreas de bosque 40% y otros usos 3%.

Según las personas encuestadas, en sus fincas predomina la actividad pecuaria ya que las actividades mixtas (agrícola y pecuaria) representan el 50% del uso productivo del suelo (Figura 14). Resultados que se ven influenciados por la producción de leche tecnificada de la zona, la cual está en crecimiento gracias a la consolidación alianzas para el fortalecimiento de cooperativas dedicadas a la producción y comercialización de leche, con el objetivo de mejorar los ingresos económicos de las familias productoras (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2008).

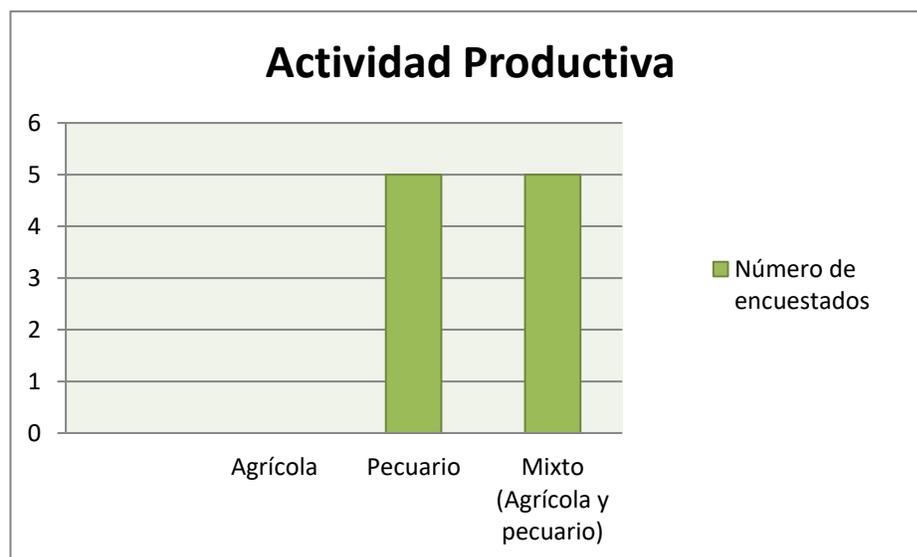


Figura14. Uso productivo del suelo por parte de los interesados en la investigación Fuente: Autores (2017)

Por otro lado se encontró que el 60% de las personas encuestadas están interesadas en la conservación de los suelos de sus fincas mientras el 10% no, y el 30% esta medianamente interesado (Figura 15). El 90% está interesado en adquirir nuevos conocimientos acerca de las prácticas de conservación de los suelos.

A pesar de que la zona está enfocada en la producción pecuaria, el municipio de Guasca también se caracteriza por la producción de arveja, cebolla, frijol, papa y tomate. Sin embargo históricamente era conocido por la producción de cereales como trigo, cebada y avena, pero estos fueron desplazados por cultivos de papa, y la papa a su vez por invernaderos para la producción de fresas y siembra de flores, lo que condujo al manejo inadecuado de prácticas asociadas tanto a la producción de los cultivos como al suelo (CIAT, 2011). Es por ello que se refleja el interés por conservar y mejorar las condiciones de los suelos, con el objetivo de brindar alternativas donde se evite la perdida y deterioro de los mismos.

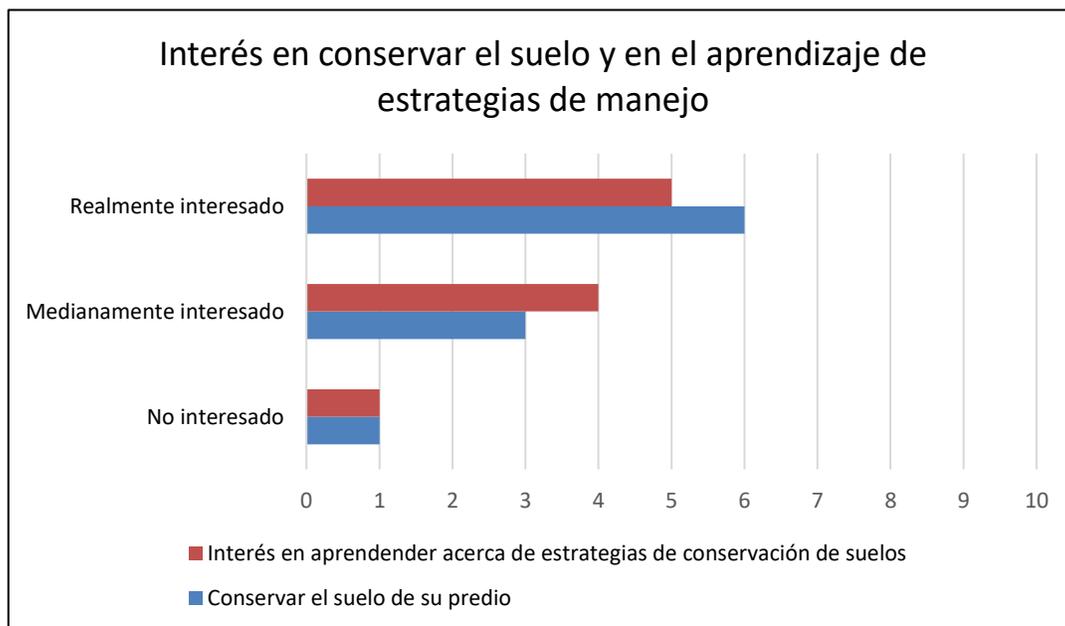


Figura 15. Interés en la conservación y en adquirir conocimiento acerca de la conservación del suelo por medio de estrategias que manejen la erosión Fuente: Autores (2017)

La comunidad de la vereda Santa Bárbara interesada en la investigación, presenta conocimientos acerca de las diferentes prácticas de conservación de suelos implementadas durante la investigación como métodos de control de la erosión, notándose que las prácticas más conocidas son las zanjas de infiltración 60% y las terrazas 50% (Figura 16). Sin embargo, al momento de optar por su implementación se observa una inclinación por las barreras vivas 60%. Situación que se atribuye a su facilidad de instalación y mantenimiento, simplicidad en el diseño (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de México, 2011), ya que después de estar trazadas las curvas de nivel solo se debe remover el terreno donde se va a establecer la barrera (Raudes & Sagastume, 2009). Por otro lado las especies establecidas como barreras vivas ya sea dentro de cultivos en ladera o en zonas de pastoreo, tienen varias finalidades, por ejemplo, pueden servir como forraje, como árboles de sombrío, para la recuperación de la deforestación, como cultivos perennes con fines productivos o a su vez se pueden combinar varias especies dentro de una misma barrera (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de México, 2011).

Por el contrario, las obras que menos se implementarían son las terrazas y las barreras muertas ya que solo el 1% de las personas encuetadas optó por ellas; perspectiva que deriva del trabajo que se requiere en la construcción especialmente de las terrazas, ya que las barreras muertas dependen del material con que se disponga en la finca y el fácil manejo del mismo. Según Raudes & Sagastume (2009), en el caso específico de los sistemas de terrazas, son las prácticas de conservación más efectivas, sin embargo su instalación es limitada por el costo de mano obra, por lo cual justifican su implementación para la producción de cultivos de alto valor, y en fincas con suficiente disponibilidad de mano de obra.

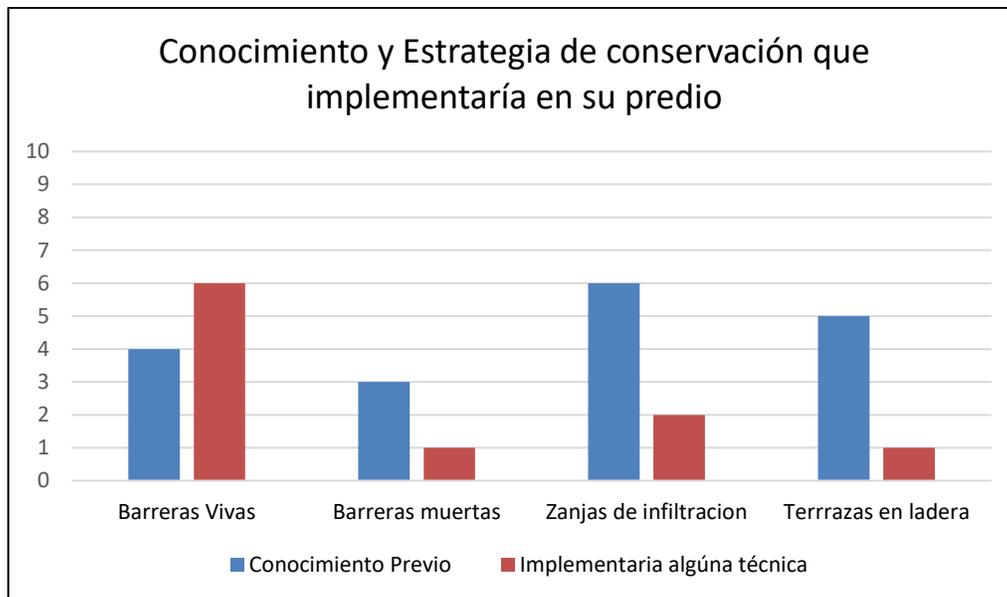


Figura 16. Conocimiento previo e interés particular por práctica de conservación para posible implementación.

Finalmente se cuestionó sobre las que podrían ser limitantes al momento de implementar una estrategia de conservación de suelos en sus predios, encontrando que el 60% manifiesta que la mano de obra para la construcción y mantenimiento de cualquiera de las estrategias abordadas en la investigación es el factor con mayor relevancia, frente a la inversión económica con un 40% (Figura 17).

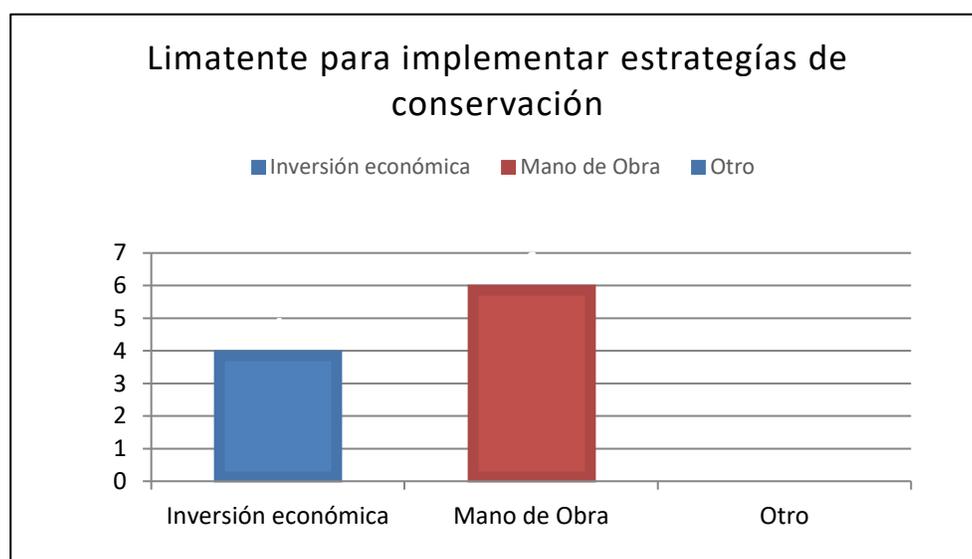


Figura 17. Factores que limitan la implementación de estrategias de conservación de suelos.

Sin embargo estas limitantes dependen también de la práctica de conservación a implementar, ya que no en todas se requiere de la misma inversión económica o frecuente mano de obra. En el caso de la construcción de las zanjas de infiltración la mano de obra se convierte en una limitante no en la construcción del sistema sino en el mantenimiento, ya que estas requieren de revisiones frecuentes principalmente en los periodos de lluvias de mayor intensidad (FAO, 2011).

5. CONCLUSIONES

- Todas las prácticas de conservación implementadas en la finca Rio Chiquito contribuyen al control de la pérdida de sedimentos por erosión.
- En el control de la escorrentía, las practicas más efectivas son las zanjas de infiltración, ya que presentan en promedio pérdidas de 13,8mm en comparación con el testigo donde se obtuvieron 15,4mm de agua de escorrentía, en terrazas las pérdidas fueron de 14,1mm, en barreras muertas de 15mm y en barreras vivas 15,4mm.
- Las zanjas de infiltración, son la práctica de conservación que mejor controla la erosión en la finca Rio Chiquito presentando una reducción en las pérdidas de suelo del 87,8% frente a los testigos.
- Las barreras vivas y barreras muertas presentan pérdidas de sedimentos estadísticamente similares a la terrazas, con 1624kg/ha y 1680kg/ha respectivamente.
- Tanto la escorrentía superficial como la erosión presentan una relación directa con las precipitaciones, ya que a mayor precipitación mayor es la perdida de suelo y agua.
- Los productores agropecuarios de la zona son mayoritariamente consientes de la importancia de conservar el suelo y adicionalmente el 90% presenta conocimiento sobre alguna práctica de conservación, lo que supone una oportunidad para el trabajo desde la agroecología en esta área.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas con cultivos de ciclos fenológicos más largos para obtener información en periodos de tiempo mayores.
- Realizar prácticas de conservación de suelo combinadas para complementar la efectividad, además de tener en cuenta las principales limitantes, que corresponden a mano de obra y costo monetario.
- Tener en cuenta el tiempo necesario para que las terrazas tengan estabilidad estructural necesaria, además del tiempo de implementación de las barreras vivas para que tengan un desarrollo radicular apto.
- Evaluar si la metodología para la implementación de terrazas en ladera empleada en la investigación, se adapta a la zona, o es necesario desarrollar otro tipo de metodología con base en parámetros locales.
- Realizar pruebas de prácticas de manejo, bajo otros tipos de labranza o manejo de cultivos, para ser comparados con los sistemas de labranza mínima o de conservación y sus posibles diferencias.
- En evaluaciones posteriores sobre la pérdida de suelo a causa de la erosión por escorrentía superficial, es importante tener en cuenta otras variables como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, ya que ésta información permite un análisis más detallado de la incidencia de la lluvia en los fenómenos erosivos.
- La pendiente es un factor relevante a tener en cuenta en estudios que evalúen las pérdidas de suelo y agua de escorrentía, debido a que su valor puede influir directamente en los resultados de las investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, Z. (1996). *Manual de prácticas agroecológicas de los andes ecuatorianos*. Quito, Ecuador: IIRR, Instituto Internacional de Reconstrucción Rural.
- Alcaldía de Guasca - Cundinamarca (2015). *Nuestro municipio, Información general de Guasca*. Recuperado de: http://www.guasca-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml
- Almorox, J., López, F., & Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación*. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Altieri, M. (2001). *Agroecología: principios y estrategias para diseñar una agricultura que conserva recursos naturales y asegura la soberanía alimentaria*. California: Universidad de California.
- Alvarado, K., López, V. & Castillo, J. (2009). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 64-72.
- Álvarez, J. & Fernández, J. (2009). Evaluación de la erosión de un Inceptisol de Tunja con diferentes coberturas al impacto de lluvias simuladas. *Revista Ingeniería e Investigación*, 29(3), 86-91.
- Andrade, O. & Rodríguez, O. (2002). Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistema de conservación de suelo en ladera. *Bioagro*, 14(3), 123-133.
- Cantillo, E., Lozada, A. & Pinzón, J. (2009). Caracterización sucesional para la restauración de la reserva forestal Cárpatos, Guasca, Cundinamarca. *Colombia Forestal*, (12), 103-118.
- Cardoza, R. (2007). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales*. Jalisco, México: Comisión Nacional Forestal.
- Carrasco, J. & Riquelme, J. (2003). *Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas*. Santiago, Chile: INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

- Carrasco, J. & Riquelme, J. (2012). Técnicas para el control de la erosión. En J. Carrasco, F. Squella, J. Riquelme, J. Hirzel, H. Uribe (Ed.), *Técnicas de conservación de suelos, agua y vegetación en territorios degradados*. (pp. 23-48). Santiago, Chile: INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Cely, G. (2010). *Determinación de parámetros de riego para el cultivo de cebolla de bulbo en el distrito de riego del alto Chicamocha*. Universidad Nacional de Colombia.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1985). *Proyecto regional de manejo de cuencas: Conservación de suelos*. Panamá: IICA-CATIE.
- CIAT. (2011). *Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria de Bogotá y en los medios de vida de pequeños productores*. Recuperado de http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2011/07/Site-Report_Guasca-Cundamarca.pdf
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., Gonzalez, J., Reynero, M., Diez, A. & Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica, principios y técnicas de manejo*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Cotler, H., Cram, S., Martínez, S. & Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas de trinchera. *Investigaciones Geográficas*, 88, 6-18.
- DANE. (2014). *Censo nacional agropecuario; uso, cobertura y tenencia de la tierra*. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/>
- Díaz, E. & Zamora, J. (2011). Estrategia de gestión ambiental para el manejo del recurso hídrico en el ámbito local caso municipio de Guasca – Cundinamarca. *Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*.
- FAO. (1990). *Conservación de suelos para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas*. Roma.
- FAO. (2000). *Manejo del suelo en pequeñas fincas: Estrategias y métodos de introducción, tecnologías y equipos*. Roma.

- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma.
- FAO. (2003). *Evaluación de la degradación de Tierra en Zonas Áridas LADA*. Recuperado el 08 de Junio de 2016 de, http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Plada/file/Docs/evaluacion_degradacion_borrador_03.pdf.
- FAO. (2005). *Manejo de suelos y agua; Tecnologías y metodologías válidas para mejorar la seguridad alimentaria en zonas secas de Honduras*. Honduras.
- FAO. (2011). *Escasez y degradación de las tierras y el agua: creciente amenaza para la seguridad alimentaria*. Roma: Publicaciones FAO; <http://www.fao.org/news/story/es/item/95186/icode/>
- FAO. (2011). *Prácticas de conservación de suelos y agua para la adaptación productiva a la variabilidad climática, secano de la región de O'Higgins*. Santiago, Chile: FAO
- FAO. (2015). *Los Suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de, Publicaciones FAO: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO. (2015). *El suelo es un recurso no renovable, su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible*. Recuperado de, FAO.org: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
- FAO. (2015). *Uso de barreras muertas en terrenos de laderas para el control de erosión*. Recuperado el 08 de junio de 2016 de, <http://teca.fao.org/es/read/8334>
- Flores, J. (2015). *Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en cuencas sub-húmedas de Chile Central*. Universidad de Córdoba, España.
- Francisco, N., Turrent, A., Oropeza, J., Martínez, M. & Cortés, J. (2006). Pérdida de suelo y relación erosión – productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 253-260.

- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Hernández, D. (2011). *Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos*. Universidad del Bio-Bio, Concepción, Chile.
- Hesse-Rodríguez, M. (1994). *Sembradores de Esperanza. Conservar para Cultivar y Vivir*. Tegucigalpa: Guaymuras y COMUNICA.
- IDEAM & UDCA. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá D.C.: IDEAM.
- IGAC. (2000). Mapa de distribución de las clases texturales de los suelos del departamento de Cundinamarca. Hoja No 228. IGAC.
- 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.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México. (2011). *Barreras vivas anti erosivas para la agricultura de ladera en la Huasteca Potosina*. Recuperado de: <http://www.campopotosino.gob.mx/modulos/tecnologiasdesc.php?id=111>
- Jiménez, I. & Rodríguez, L. (2008). *Diagnóstico de la infiltración y permeabilidad en los suelos de la zona de recarga del acuífero Morroa en el área Sincelejo, Corozal y Morroa*. Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Kosmas, C., Kounalaki, A., Kairis, O., & Yassoglou, N. (2008). *Estructuras tradicionales y actuales para la conservación y el cultivo de los suelos*. Recuperado de http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/C2_Booklet_Final_ES.pdf
- Lagos, E. (2006). *Caracterización del proceso precipitación-escorrentía sólida utilizando un simulador de lluvia*. Universidad de Talca, Chile.

- León, J. (2001). *Estudio y control de la erosión hídrica*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- León, J. (2007). *Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- León, T., & Rodríguez, L. (2010). *Ciencia, tecnología y ambiente en la agricultura colombiana*. Recuperado de <http://ilsa.org.co/>
- Loredo, C. (2005). *Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas*. San Luis Potosí, México: INIFAP-CIRNE.
- May, T. (2011). Dificultades para la apropiación de técnicas de conservación de suelo en la zona de montaña de República Dominicana. *Ambiente y Desarrollo*, 15(29).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2008). *Alianza para la producción y comercialización de leche en los municipios de Guasca y Guatavita*. Recuperado de <http://www.observatorio.misionrural.net>
- Niño, V. (2011). *Metodología de la investigación: Diseño y ejecución*. Colombia: Ediciones de la U.
- Núñez, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. San José, Costa Rica: EUNED.
- Quiroz, T. & Hincapié, E. (2007). Pérdidas de suelo por erosión en sistemas de producción de café con cultivos intercalados. *Cenicafé*, 58(3), 227-235.
- Pimentel, D. (2006). Soil erosion: A foot and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 119-137
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C. & Martínez, E. (2004). *Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos, para la mantención e incremento de la productividad silvícola – Zanjales de infiltración*. Talca, Chile: Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda.

- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., Martínez, E. & García, J. (2004). *Diseño de obras para la conservación de aguas y suelo*. Talca, Chile: Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos Ltda.
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., Martínez, E. & León, L. (2008). Diseño hidrológico de zanjales de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Revista Bosque*, 29(2), 136-145.
- Prado, L. & Veiga, M. (1993). Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. En FAO (Ed.), *erosión de suelos en América Latina*. Santiago, Chile:
- Programa Desarrollo Rural Sostenible. (2003). *Tecnologías de manejo y conservación de recursos naturales, para reducir la vulnerabilidad frente a fenómenos naturales y socio naturales*. Provincia San Marcos: PDRS
- Raudes, M., & Sagastume, N. (2009). *Manual de conservación de suelos*. Honduras: Zamorano-Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central
- Rengifo, E., Palencia, C., Mantilla, B., Guiza, P., Castilla, C. & León, E. (2012). Estimación de la pérdida de suelo por erosión en sistemas agroforestales. *Suelos Ecuatoriales*, 42(1), 56-61.
- Resolución 041 de 1996 (1996, 31 de octubre). *Determinación de extensiones para las UAFs*. Bogotá: Instituto Colombiano De La Reforma Agraria.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2009). *Terrazas*. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/13%20TERRAZAS.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. (2009). *Terrazas de banco*. Recuperado de, http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/TERRAZAS_DE_BANCO.pdf

- Suárez, D. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Suárez Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Tayupanta, J. (1993). *La erosión hídrica: Procesos, factores y formas*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- UNAL. (2015). *Crece la erosión en la región Caribe y la Orinoquia*. Recuperado de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/crece-la-erosion-en-region-caribe-y-orinoquia.html>
- Vega, L. (2008). *Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo*. Universidad de Talca, Chile.
- Villarreal, J. (2000). *Cucunubá: modelo para un desarrollo sostenible*. Bogotá, D.C: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Walle, R. (2003). *Módulo de conservación de suelos y laderas*. Tegucigalpa, Honduras: Zamorano.
- Widomski, M. (2011). Terracing as a measure of soil erosion control and its effects on improvement of infiltration in eroded environment. En D. Goden & S. Stanchi (Ed.), *Soil erosion issues in agriculture* (pp. 315-334). Europa:
- WOCAT. (1992). *La reseña mundial de enfoques y tecnologías de la conservación*. Recuperado de, <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/conservacion-del-suelo/es/>
- Zavala, J., Palma, D., Fernández, C., López, A. & Shirma, E. (2011). *Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco*. Tabasco, México: Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental.

ANEXOS

Anexo 1. Registros Históricos IDEAM valores totales mensuales de precipitación en mm estación Guasca.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	12,1	27,3	58,1	66,8	95,9	94,8	39,4	73,3	73,8	75,4	91,0	113,1
1976	35,5	24,8	96,1	93,0	84,0	103,1	108,5	50,7	38,5	85,1	125,0	27,6
1977	4,9	12,2	66,7	138,6	41,8	43,3	69,7	43,6	73,3	23,8	71,0	25,0
1978	15,4	55,6	24,5	61,0	76,9	103,0	56,0	41,6	50,8	39,4	40,9	64,5
1979	30,5	68,5	113,2	95,6	118,2	109,1	55,5	66,8	42,6	215,7	154,5	35,7
1980	30,9	105,2	96,0	73,0	55,8	129,9	36,8	32,7	58,1	62,0	87,0	20,6
1981	59,2	29,2	51,6	184,8	182,1	50,1	41,2	82,1	89,2	92,3	81,1	31,5
1982	72,0	61,9	138,6	161,8	81,6	33,9	57,5	52,2	25,7	81,0	34,7	37,3
1983	46,4	100,8	55,6	115,0	39,2	45,0	69,5	30,7	35,1	38,7	21,0	26,5
1984	83,6	58,1	64,9	64,0	85,6	108,2	44,2	100,1	50,7	53,6	104,7	14,7
1985	63,8	20,1	24,9	136,1	127,5	53,5	53,5	41,9	108,0	135,3	79,1	30,3
1986	24,8	120,6	106,9	24,7	93,3	115,8	99,5	43,6	48,9	100,0	60,7	24,0
1987	21,1	32,5	42,5	63,2	75,3	35,3	98,9	45,8	57,0	174,2	51,8	39,9
1988	5,9	10,0	37,4	60,6	84,6	66,6	76,3	68,3	57,0	97,9	121,7	69,8
1989	12,6	34,6	124,6	25,6	79,2	78,0	66,3	25,1	74,5	18,8	69,3	74,6
1990	11,3	84,2	98,2	100,8	98,6	64,5	34,9	45,0	50,9	48,4	37,2	73,3
1991	35,6	34,2	90,7	46,6	37,2	58,8	110,1	92,6	27,2	77,9	137,7	17,4
1992	33,3	14,1	79,3	67,2	27,9	30,9	71,8	35,9	40,5	12,4	157,0	38,0
1994	41,0	76,7	47,6	45,9	84,7	89,2	74,1	46,1	25,5	53,0	28,0	38,6
1995	11,4	14,7	57,2	126,8	152,8	67,2	53,3	124,9	13,5	47,7	49,3	50,5
1996	22,5	58,1	89,8	87,3	96,9	53,1	110,3	57,8	21,7	63,9	49,5	44,4
1997	118,9	8,3	26,5	30,6	57,8	76,1	117,1	43,5	11,7	0,0	41,3	10,2
1998	13,6	8,4	79,7	24,2	111,2	43,9	98,9	50,3	45,3	47,0	66,6	91,4
1999	15,1	72,5	74,6	68,5	65,0	52,3	47,9	51,2	128,8	149,8	99,8	92,0
2000	95,3	50,1	68,8	72,0	106,2	79,6	57,8	88,8	99,9	63,6	66,8	31,5
2001	0,0	61,2	36,3	21,4	98,2	67,7	69,6	48,8	75,7	109,3	87,1	56,0
2002	2,0	10,0	68,9	87,2	136,0	140,5	75,1	87,0	39,9	124,1	29,4	15,0
2003	5,5	39,0	126,4	101,4	65,4	45,9	80,8	58,5	58,2	119,0	42,1	97,0
2004	30,0	45,0	52,5	87,0	103,6	124,4	62,1	82,2	65,3	95,8	72,2	89,8
2005	17,6	52,2	24,7	105,4	172,9	57,4	53,3	37,0	67,6	186,6	147,6	13,6
2007	0,3	87,2	17,0	49,4	39,4	81,8	26,8	50,8	24,3	99,7	49,6	100,8
2008	24,1	30,8	66,4	46,1	160,6	104,4	107,1	94,9	57,9	48,7	196,8	60,2
2009	51,6	26,4	72,6	111,2	110,0	105,0	94,3	58,6	53,3	83,8	54,8	5,3
2010	20,0	34,9	26,2	167,9	118,5	89,5	120,8	50,7	76,6	148,0	187,5	66,4
2011	40,2	112,3	142,8	208,5	109,8	57,3	75,2	37,2	38,8	145,9	199,4	57,0
2013	11,7	56,6	77,8	88,6	154,7	39,7	71,2	123,0	29,9	43,2	224,6	71,0
2014	38,9	33,4	121,3	64,6	84,9	129,0	114,5	51,9	46,2	47,1	60,1	51,7
2015	26,8	48,1	47,5	50,3	53,6	150,0	104,4	56,7	47,4	19,4	31,2	7,5

Anexo 2. Registro fotográfico: Trazo curvas de nivel, construcción de terrazas, zanjias de infiltración, barreras vivas.



Anexo 3. Registro fotográfico, fase de laboratorio.



Anexo 4. Base de datos consolidada. Volumen escurrido en ml, agua escurrida en mm, Sedimentos en Kg/ha

Fecha	Precipitación (mm)	Tratamiento	BLOQUE I					BLOQUE II					BLOQUE III					BLOQUE IV				
			Volumen escurrido en ml	Agua escurrida mm	Sedimentos 200 ml (gr)	Sedimentos Totales (Kg)	Sedimentos Kg/ha	Volumen escurrido en ml	Agua escurrida mm	Sedimentos (gr)	Sedimentos Totales (Kg)	Sedimentos Kg/ha	Volumen escurrido en ml	Agua escurrida mm	Sedimentos (gr)	Sedimentos Totales (Kg)	Sedimentos Kg/ha	Volumen escurrido en ml	Agua escurrida mm	Sedimentos (gr)	Sedimentos Totales (Kg)	Sedimentos Kg/ha
22/12/2016	3	Barrera Viva	2100	0,131	0,37	0,003885	2,428125	1980	0,124	0,42	0,004158	2,59875	1910	0,119	0,35	0,003343	2,0890625	1860	0,116	0,45	0,0041850	2,615625
		Barrera Mue	2850	0,178	0,21	0,002993	1,8703125	3106	0,194	0,12	0,001864	1,16475	2910	0,182	0,09	0,001310	0,8184375	3080	0,193	0,225	0,0034650	2,165625
		Zanja Inf	2710	0,169	0,17	0,002304	1,4396875	2560	0,160	0,09	0,001152	0,72	2700	0,169	0,13	0,001755	1,096875	2950	0,184	0,18	0,0026550	1,659375
		Terraza	2630	0,164	1,37	0,018016	11,2596875	2510	0,157	1,42	0,017821	11,138125	2810	0,176	1,35	0,018968	11,8546875	2750	0,172	1,48	0,0203500	12,71875
		Testigo	3180	0,199	1,75	0,027825	17,390625	2985	0,187	1,98	0,029552	18,4696875	3210	0,201	2,2	0,035310	22,06875	3100	0,194	2,3	0,0356500	22,28125
31/12/2016	3	Barrera Viva	2250	0,141	0,45	0,005063	3,1640625	2080	0,130	0,39	0,004056	2,535	11995	0,750	0,5	0,029988	18,7421875	2130	0,133	0,41	0,0043665	2,7290625
		Barrera Mue	2160	0,135	0,56	0,006048	3,78	1950	0,122	0,48	0,004680	2,925	2300	0,144	0,53	0,006095	3,809375	2080	0,130	0,65	0,0067600	4,225
		Zanja Inf	1950	0,122	0,06	0,000585	0,365625	2030	0,127	0,09	0,000914	0,5709375	1906	0,119	0,03	0,000286	0,1786875	1890	0,118	0,12	0,0011340	0,70875
		Terraza	2300	0,144	1,12	0,012880	8,05	1890	0,118	0,86	0,008127	5,079375	2100	0,131	0,95	0,009975	6,234375	2260	0,141	1,15	0,0129950	8,121875
9/01/2017	11	Barrera Viva	2900	0,181	2,21	0,032045	20,028125	2600	0,163	3,04	0,039520	24,7	3060	0,191	2,35	0,035955	22,471875	2860	0,179	2,15	0,0307450	19,215625
		Barrera Mue	10332	0,646	1,35	0,069741	43,588125	9780	0,611	0,83	0,040587	25,366875	10150	0,634	0,75	0,038063	23,7890625	10120	0,633	0,78	0,0394680	24,6675
		Barrera Mue	11380	0,711	0,35	0,019915	12,446875	11090	0,693	0,28	0,015526	9,70375	11200	0,700	0,27	0,015120	9,45	10960	0,685	0,31	0,0169880	10,6175
		Zanja Inf	9760	0,610	0,38	0,018544	11,59	9980	0,624	0,4	0,019960	12,475	10020	0,626	0,41	0,020541	12,838125	9870	0,617	0,45	0,0222075	13,8796875
		Terraza	10370	0,648	1,58	0,081923	51,201875	11094	0,693	1,09	0,060462	37,7889375	10120	0,633	1,05	0,053130	33,20625	10320	0,645	1,24	0,0639840	39,99
10/01/2017	12	Barrera Viva	10730	0,671	2,58	0,138417	86,510625	11020	0,689	2,2	0,121220	75,7625	10900	0,681	2,64	0,143880	89,925	10750	0,672	2,58	0,1386750	86,671875
		Barrera Viva	11020	0,689	1,52	0,083752	52,345	10070	0,629	1,34	0,067469	42,168125	11150	0,697	1,26	0,070245	43,903125	10540	0,659	1,41	0,0743070	46,441875
		Barrera Mue	11150	0,697	1,11	0,061883	38,6765625	11180	0,699	0,57	0,031863	19,914375	11370	0,711	0,55	0,031268	19,5421875	11540	0,721	0,69	0,0398130	24,883125
		Zanja Inf	10420	0,651	0,43	0,022403	14,001875	9870	0,617	0,38	0,018753	11,720625	10300	0,644	0,46	0,023690	14,80625	10050	0,628	0,52	0,0261300	16,33125
		Terraza	8380	0,524	1,45	0,060755	37,971875	11500	0,719	1,45	0,083375	52,109375	11080	0,693	1,33	0,073682	46,05125	10710	0,669	2,1	0,1124550	70,284375
19/01/2017	8	Barrera Viva	10750	0,672	2,12	0,113950	71,21875	11100	0,694	2,43	0,134865	84,290625	11310	0,707	2,65	0,149858	93,6609375	11080	0,693	2,78	0,1540120	96,2575
		Barrera Viva	6300	0,394	1,09	0,034335	21,459375	6750	0,422	0,95	0,032063	20,0390625	6450	0,403	1,34	0,043215	27,009375	6115	0,382	1,22	0,0373015	23,3134375
		Barrera Mue	6630	0,414	1,32	0,043758	27,34875	6910	0,432	1,13	0,039042	24,4009375	6280	0,393	0,98	0,030772	19,2325	6200	0,388	1,32	0,0409200	25,575
		Zanja Inf	5420	0,339	0,36	0,009756	6,0975	5980	0,374	0,21	0,006279	3,924375	5994	0,375	0,28	0,008392	5,24475	4980	0,311	0,34	0,0084660	5,29125
		Terraza	6800	0,425	1,32	0,044880	28,05	6020	0,376	1,03	0,031003	19,376875	6380	0,399	1,11	0,035409	22,130625	7050	0,441	1,35	0,0475875	29,7421875
25/01/2017	14	Barrera Viva	6900	0,431	1,92	0,066240	41,4	7050	0,441	2,08	0,073320	45,825	6810	0,426	2,47	0,084104	52,5646875	7300	0,456	2,44	0,0890600	55,6625
		Barrera Viva	12970	0,811	1,68	0,108948	68,0925	13110	0,819	1,48	0,097083	60,676875	13500	0,844	1,39	0,094003	58,7516447	13280	0,830	1,56	0,1034792	64,6744737
		Barrera Mue	12552	0,785	1,30	0,081274	50,796375	13100	0,819	0,67	0,043558	27,2234375	12810	0,801	0,64	0,041099	25,6867188	12600	0,788	0,81	0,0507150	31,698875
		Zanja Inf	11820	0,739	0,50	0,029649	18,5303125	11360	0,710	0,44	0,025181	15,7383333	12450	0,778	0,54	0,033408	20,8796875	12040	0,753	0,61	0,0365213	22,8258333
		Terraza	12200	0,763	1,69	0,103192	64,4947917	11970	0,748	1,69	0,101246	63,2789063	12100	0,756	1,55	0,093876	58,6723958	11960	0,748	2,45	0,1465100	91,56875
10/02/2017	33	Barrera Viva	12910	0,807	2,47	0,159654	99,7835417	13450	0,841	2,84	0,190654	119,158594	12980	0,811	3,09	0,200649	125,405729	13500	0,844	3,24	0,2189250	136,828125
		Barrera Viva	31558	1,972	3,92	0,618537	386,5855	32027	2,002	3,42	0,547103	341,939644	33294	2,081	4,82	0,802233	501,395422	31056	1,941	4,39	0,6812946	425,809101
		Barrera Mue	30753	1,922	5,45	0,837250	523,281516	33137	2,071	4,66	0,772299	482,687004	31509	1,969	4,04	0,636876	398,047289	28548	1,784	5,45	0,7772193	485,762063
		Zanja Inf	25587	1,599	1,49	0,189983	118,739672	25268	1,579	0,87	0,109442	68,4012656	30124	1,883	1,16	0,173966	108,728813	25920	1,620	1,40	0,1817640	113,6025
		Terraza	28044	1,753	5,56	0,779623	487,2645	26011	1,626	4,34	0,564242	352,651029	27972	1,748	4,68	0,653909	408,69317	26110	1,632	5,69	0,7423548	463,971733
12/02/2017	22	Barrera Viva	28804	1,800	7,92	1,140638	712,899	34483	2,155	8,58	1,479321	924,575438	33040	2,065	10,19	1,683182	1051,98844	30202	1,888	10,07	1,5199157	949,947281
		Barrera Viva	20955	1,310	2,55	0,267176	166,985156	22068	1,379	2,25	0,248047	155,029515	21940	1,371	2,11	0,231886	144,928495	21565	1,348	2,37	0,2550558	159,409863
		Barrera Mue	20714	1,295	2,04	0,210765	131,728094	21990	1,374	1,05	0,114898	71,8110938	21120	1,320	1,01	0,106480	66,55	20530	1,283	1,27	0,1298523	81,1576563
		Zanja Inf	19560	1,223	0,79	0,077099	48,186875	18570	1,161	0,70	0,064686	40,4284375	20200	1,263	0,84	0,085177	53,2354167	19760	1,235	0,95	0,0941893	58,8683333
		Terraza	19660	1,229	2,66	0,261314	163,321354	19130	1,196	2,66	0,254270	158,91849	20150	1,259	2,44	0,245662	153,538802	19730	1,233	3,85	0,3798025	237,376563
20/02/2017	6	Barrera Viva	20970	1,311	3,89	0,407517	254,698125	21980	1,374	4,46	0,489605	306,002813	22040	1,378	4,86	0,636876	334,617708	21940	1,371	5,10	0,5591043	349,440208
		Barrera Viva	4985	0,312	0,72	0,017946	11,21625	4152	0,260	0,63	0,013027	8,14211009	5060	0,316	0,89	0,022394	13,9962385	4995	0,312	0,81	0,0201266	12,5791514
		Barrera Mue	4390	0,274	0,99	0,021731	13,5815625	4210	0,263	0,85	0,017840	11,1499219	4500	0,281	0,74	0,016538	10,3359375	4670	0,292	0,99	0,0231165	14,4478125
		Zanja Inf	4080	0,255	0,27	0,005508	3,4425	4150	0,259	0,16	0,003268	2,04257813	4700	0,294	0,21	0,004935	3,084375	4320	0,270	0,26	0,0055080	3,4425
		Terraza	4740	0,296	1,01	0,023959	14,9740909	4810	0,301	0,79	0,018971	11,8568819	4050	0,253	0,85	0,017214	10,7588585	4190	0,262	1,03	0,0216599	13,5374225
21/02/2017	13	Barrera Viva	4850	0,303	1,44	0,034920	21,825	4920	0,308	1,56	0,038376	23,985	3920	0,245	1,85	0,036309	22,693125	5060	0,316	1,83	0,0462990	28,936875
		Barrera Viva	12280	0,768	1,48																	

23/02/2017	17	Barrera Viva	13050	0,816	2,09	0,136135	85,084517	13300	0,831	1,90	0,126350	78,96875	13760	0,860	2,68	0,184384	115,24	15110	0,944	2,44	0,1843420	115,21375
		Barrera Mue	13115	0,820	2,81	0,183938	114,961172	13550	0,847	2,40	0,162685	101,67793	13100	0,819	2,08	0,136404	85,2523438	15030	0,939	2,81	0,2107958	131,747344
		Zanja Inf	13350	0,834	0,77	0,051064	31,9148438	13180	0,824	0,45	0,029408	18,3799219	12930	0,808	0,60	0,038467	24,0417188	14960	0,935	0,72	0,0540430	33,776875
		Terraza	12920	0,808	2,86	0,185030	115,643788	13870	0,867	2,23	0,154996	96,8722862	13910	0,869	2,41	0,167516	104,697418	16200	1,013	2,93	0,2372764	148,297779
		Testigo	15230	0,952	4,08	0,310692	194,1825	14150	0,884	4,42	0,312715	195,446875	13320	0,833	5,25	0,349567	218,479219	16410	1,026	5,19	0,4254293	265,893281
7/03/2017	16	Barrera Viva	11450	0,716	1,96	0,112418	70,2613636	11400	0,713	1,73	0,098673	61,6704545	12970	0,811	1,63	0,105560	65,9747907	14760	0,923	1,82	0,1344290	84,018122
		Barrera Mue	10428	0,652	1,48	0,077167	48,2295	12940	0,809	0,76	0,049172	30,7325	12960	0,810	2,00	0,129600	81	14890	0,931	2,51	0,1868018	116,751136
		Zanja Inf	13170	0,823	0,57	0,037754	23,59625	12860	0,804	0,51	0,032579	20,3616667	12540	0,784	0,61	0,038456	24,035	13910	0,869	0,69	0,0482213	30,1383333
		Terraza	11390	0,712	1,93	0,110103	68,8145833	13440	0,840	1,93	0,129920	81,2	10500	0,656	1,77	0,093100	58,1875	15810	0,988	2,50	0,1976250	123,515625
		Testigo	14980	0,936	5,00	0,374500	234,0625	13800	0,863	5,73	0,395448	247,155071	12980	0,811	6,25	0,405625	253,515625	14130	0,883	6,56	0,4632241	289,515035
16/03/2017	14	Barrera Viva	13480	0,843	1,72	0,115805	72,3784091	12250	0,766	1,56	0,095838	59,8988971	13210	0,826	2,21	0,145776	91,1101471	12260	0,766	2,01	0,1231769	76,985882
		Barrera Mue	11577	0,724	2,31	0,133714	83,5714688	12300	0,769	1,98	0,121616	76,0101563	12280	0,768	1,72	0,105301	65,813125	11830	0,739	2,31	0,1366365	85,3978125
		Zanja Inf	10730	0,671	0,80	0,042920	26,825	11280	0,705	0,47	0,026320	16,45	11540	0,721	0,62	0,035902	22,4388889	9560	0,598	0,76	0,0361156	27,522222
		Terraza	9880	0,618	2,36	0,116524	72,8275758	11570	0,723	1,84	0,106477	66,5480848	12002	0,750	1,98	0,119031	74,3946284	10240	0,640	2,41	0,1235147	77,1966942
		Testigo	12220	0,764	3,36	0,205296	128,31	13850	0,866	3,64	0,252070	157,54375	10980	0,686	4,32	0,237305	148,315781	10970	0,686	4,27	0,2342095	146,380938
20/03/2017	24	Barrera Viva	22955	1,435	2,95	0,338065	211,290341	19563	1,223	2,60	0,253991	158,744619	22085	1,380	2,44	0,269617	168,510399	20123	1,258	2,73	0,2749100	171,818767
		Barrera Mue	18361	1,148	2,22	0,203807	127,379438	19375	1,211	1,14	0,110438	69,0234375	20230	1,264	3,00	0,303450	189,65625	19105	1,194	3,76	0,3595214	224,700852
		Zanja Inf	16943	1,059	0,86	0,072855	45,5343125	17955	1,122	0,76	0,068229	42,643125	18953	1,185	0,92	0,077184	54,489875	14148	0,884	1,04	0,0735696	45,981
		Terraza	14843	0,928	2,90	0,215224	134,514688	18395	1,150	2,90	0,266728	166,704688	19517	1,220	2,66	0,295756	162,235063	15565	0,973	3,75	0,2918438	182,402344
		Testigo	19558	1,222	7,50	0,733425	458,390625	22575	1,411	8,60	0,970352	606,470187	16955	1,060	9,38	0,794766	496,728516	16745	1,047	9,83	0,8234275	514,642173
22/03/2017	6	Barrera Viva	5900	0,369	0,74	0,021723	13,5767045	6400	0,400	0,67	0,021459	13,4117647	6110	0,382	0,95	0,028897	18,0604412	5970	0,373	0,86	0,0257061	16,0663235
		Barrera Mue	6150	0,384	0,99	0,030443	19,0265625	6640	0,415	0,85	0,028137	17,585625	5920	0,370	1,00	0,062420	35,15	6010	0,376	2,56	0,0769035	48,0646684
		Zanja Inf	5760	0,360	0,34	0,009874	6,17142857	5940	0,371	0,20	0,005940	3,7125	5610	0,351	0,27	0,007480	4,675	5890	0,368	0,32	0,0095362	5,96011905
		Terraza	5910	0,369	1,01	0,029872	18,6702273	6110	0,382	0,79	0,024098	15,0614446	5990	0,374	0,85	0,025460	15,9124845	5980	0,374	2,00	0,0598000	37,375
		Testigo	6350	0,397	1,44	0,045720	28,575	6870	0,429	1,56	0,053586	33,49125	6200	0,388	1,85	0,057428	35,8921875	6350	0,397	1,83	0,0581025	36,3140625
23/03/2017	13	Barrera Viva	11180	0,699	1,60	0,089186	55,7411932	12760	0,798	1,41	0,089736	56,0849507	12060	0,754	1,32	0,079750	49,843522	12650	0,791	1,48	0,0936096	58,5060136
		Barrera Mue	11540	0,721	1,20	0,069384	43,3651563	11820	0,739	0,62	0,036494	22,8089063	11970	0,748	1,63	0,097256	60,7851563	13230	0,827	2,04	0,1348558	84,2848722
		Zanja Inf	13860	0,866	0,47	0,032282	20,1764063	12780	0,799	0,41	0,026306	16,4409375	11650	0,728	0,50	0,029028	18,1424479	13680	0,855	0,56	0,0385320	24,0825
		Terraza	11970	0,748	1,57	0,094014	58,7589844	12630	0,789	1,57	0,099198	61,9988281	12380	0,774	1,44	0,089188	55,7422396	12970	0,811	2,03	0,1317266	82,3291016
		Testigo	13290	0,831	4,06	0,269953	168,720703	10920	0,683	4,66	0,254247	158,904592	12740	0,796	5,08	0,323477	202,172852	13980	0,374	5,33	0,3723741	232,733822
27/03/2017	26	Barrera Viva	24955	1,560	3,19	0,398146	248,841051	17057	1,066	2,91	0,247828	154,89261	22230	1,389	4,10	0,455584	284,740147	18680	1,168	3,73	0,3485468	217,841765
		Barrera Mue	16008	1,001	4,29	0,343372	214,60725	16760	1,048	3,67	0,307756	192,347188	19340	1,209	8,23	0,796163	497,602083	17680	1,105	11,09	0,9803380	612,711224
		Zanja Inf	14325	0,895	1,49	0,106414	66,5089286	17340	1,084	0,87	0,075140	46,9625	17705	1,107	1,16	0,102296	63,9347222	8535	0,533	1,40	0,0598085	37,4252976
		Terraza	10025	0,627	4,38	0,219578	137,236174	17660	1,104	3,42	0,301827	188,641923	18884	1,180	3,68	0,347814	217,383842	11400	0,713	8,67	0,4940000	308,75
		Testigo	18145	1,134	6,24	0,566124	353,8275	23170	1,448	6,76	0,783146	489,46625	11870	0,742	8,03	0,476432	297,770078	11550	0,722	7,93	0,4579575	286,223438
29/03/2017	10	Barrera Viva	8950	0,559	1,23	0,054920	34,3252841	8560	0,535	1,08	0,046307	28,9418361	9830	0,614	1,02	0,050002	31,2515513	9630	0,622	1,14	0,0548167	34,2604385
		Barrera Mue	9260	0,579	0,93	0,042828	26,7671875	9040	0,565	0,48	0,021470	13,41875	10260	0,641	1,25	0,064125	40,078125	9920	0,620	1,57	0,0777818	48,6136364
		Zanja Inf	8430	0,527	0,36	0,015104	9,43984375	8320	0,520	0,32	0,013173	8,23333333	9640	0,603	0,38	0,018477	11,5479167	8910	0,557	0,43	0,0193050	12,065625
		Terraza	9180	0,574	1,21	0,055463	34,6640625	9110	0,569	1,21	0,055040	34,3997396	9960	0,623	1,11	0,055195	34,496875	9950	0,622	1,56	0,0777344	48,5839844
		Testigo	9700	0,606	3,13	0,151563	94,7265625	10080	0,630	3,58	0,180531	112,831663	10400	0,650	3,91	0,203125	126,953125	10100	0,631	4,10	0,2069428	129,339254
1/04/2017	8	Barrera Viva	6120	0,383	0,98	0,030044	18,7772727	6530	0,408	0,89	0,029193	18,2455882	6320	0,395	1,26	0,039853	24,9082353	5970	0,373	1,15	0,0342748	21,4217647
		Barrera Mue	6510	0,407	1,32	0,042966	26,85375	6740	0,421	1,13	0,038081	23,800625	6290	0,393	2,53	0,079673	49,7958333	6020	0,376	3,41	0,1027086	64,1928571
		Zanja Inf	5280	0,330	0,46	0,012069	7,54285714	5710	0,357	0,27	0,007613	4,75833333	5570	0,348	0,36	0,009902	6,18888889	4670	0,292	0,43	0,0100813	6,30079365
		Terraza	6260	0,391	1,35	0,042189	26,3678788	6710	0,383	1,05	0,032184	20,1147934	6190	0,387	1,13	0,035080	21,9250482	6130	0,383	2,67	0,0817333	51,0833333
		Testigo	6750	0,422	1,92	0,064800	40,5	6930	0,433	2,08	0,072072	45,045	6680	0,418	2,47	0,082498	51,56125	6520	0,408	2,44	0,0795440	49,715
11/04/2017	6	Barrera Viva	3710	0,232	0,74	0,013660	8,53721591	4710	0,294	0,65	0,015288	9,55486319	4150	0,259	0,60	0,012666	7,91621187	5670	0,354	0,68		

Anexo 5. Tablas análisis estadísticos escorrentía mm.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: AguaEscurrída

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10,468 ^a	7	1,495	7,096	,002
Intersección	4346,590	1	4346,590	20625,340	,000
Bloques	1,240	3	,413	1,961	,174
Tratamiento	9,228	4	2,307	10,947	,001
Error	2,529	12	,211		
Total	4359,587	20			
Total corregida	12,997	19			

a. R cuadrado = ,805 (R cuadrado corregida = ,692)

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: AguaEscurrída
Bonferroni

(I)4 repeticiones	(J)4 repeticiones	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	2,00	-,4998	,29034	,665	-1,4151	,4155
	3,00	-,6736	,29034	,233	-1,5889	,2417
	4,00	-,3238	,29034	1,000	-1,2391	,5915
2,00	1,00	,4998	,29034	,665	-,4155	1,4151
	3,00	-,1738	,29034	1,000	-1,0891	,7415
	4,00	,1760	,29034	1,000	-,7393	1,0913
3,00	1,00	,6736	,29034	,233	-,2417	1,5889
	2,00	,1738	,29034	1,000	-,7415	1,0891
	4,00	,3498	,29034	1,000	-,5655	1,2651
4,00	1,00	,3238	,29034	1,000	-,5915	1,2391
	2,00	-,1760	,29034	1,000	-1,0913	,7393
	3,00	-,3498	,29034	1,000	-1,2651	,5655

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,211.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: AguaEscurrída
Bonferroni

(I)1: Barrera Viva 2: Barrera muerta 3:Zanja In_4: Terraza 5: Testigo	(J)1: Barrera Viva 2: Barrera muerta 3:Zanja In_4: Terraza 5: Testigo	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Barrera Viva	Barrera Muerta	,4635	,32461	1,000	-,6494	1,5764
	Zanja Infiltración	1,6600*	,32461	,003	,5471	2,7729
	Terraza	1,2870*	,32461	,019	,1741	2,3999
	Testigo	-,0048	,32461	1,000	-1,1176	1,1081
Barrera Muerta	Barrera Viva	-,4635	,32461	1,000	-1,5764	,6494
	Zanja Infiltración	1,1965*	,32461	,031	,0836	2,3094
	Terraza	,8235	,32461	,261	-,2894	1,9364
	Testigo	-,4683	,32461	1,000	-1,5811	,6446
Zanja Infiltración	Barrera Viva	-1,6600*	,32461	,003	-2,7729	-,5471
	Barrera Muerta	-1,1965*	,32461	,031	-2,3094	-,0836
	Terraza	-,3730	,32461	1,000	-1,4859	,7399
	Testigo	-1,6648*	,32461	,002	-2,7776	-,5519
Terraza	Barrera Viva	-1,2870*	,32461	,019	-2,3999	-,1741
	Barrera Muerta	-,8235	,32461	,261	-1,9364	,2894
	Zanja Infiltración	,3730	,32461	1,000	-,7399	1,4859
	Testigo	-1,2918*	,32461	,018	-2,4046	-,1789
Testigo	Barrera Viva	,0048	,32461	1,000	-1,1081	1,1176
	Barrera Muerta	,4683	,32461	1,000	-,6446	1,5811
	Zanja Infiltración	1,6648*	,32461	,002	,5519	2,7776
	Terraza	1,2918*	,32461	,018	,1789	2,4046

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = ,211.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Anexo 6. Tablas análisis estadísticos Sedimentos Kg

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Kg/ Ha

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	23210115,8 ^a	7	3315730,821	64,620	,000
Intersección	68401908,45	1	68401908,45	1333,079	,000
Tratamientos	22676532,80	4	5669133,200	110,485	,000
Bloques	533582,950	3	177860,983	3,466	,051
Error	615734,800	12	51311,233		
Total	92227759,00	20			
Total corregida	23825850,55	19			

a. R cuadrado = ,974 (R cuadrado corregida = ,959)

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Kg/ Ha
Bonferroni

(I)1: Barrera viva 2: Barrera muerta 3: Zanja infiltración 4: Terraza 5: Testigo	(J)1: Barrera viva 2: Barrera muerta 3: Zanja infiltración 4: Terraza 5: Testigo	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Barrera Viva	Barrera Muerta	-56,2500 [*]	160,17371	1,000	-605,3966	492,8966
	Zanja Infiltración	1166,2500 [*]	160,17371	,000	617,1034	1715,3966
	Terraza	-102,7500 [*]	160,17371	1,000	-651,8966	446,3966
	Testigo	-2132,7500 [*]	160,17371	,000	-2681,8966	-1583,6034
Barrera Muerta	Barrera Viva	56,2500 [*]	160,17371	1,000	-492,8966	605,3966
	Zanja Infiltración	1222,5000 [*]	160,17371	,000	673,3534	1771,6466
	Terraza	-46,5000 [*]	160,17371	1,000	-595,6466	502,6466
	Testigo	-2076,5000 [*]	160,17371	,000	-2625,6466	-1527,3534
Zanja Infiltración	Barrera Viva	-1166,2500 [*]	160,17371	,000	-1715,3966	-617,1034
	Barrera Muerta	-1222,5000 [*]	160,17371	,000	-1771,6466	-673,3534
	Terraza	-1269,0000 [*]	160,17371	,000	-1818,1466	-719,8534
	Testigo	-3299,0000 [*]	160,17371	,000	-3848,1466	-2749,8534
Terraza	Barrera Viva	102,7500 [*]	160,17371	1,000	-446,3966	651,8966
	Barrera Muerta	46,5000 [*]	160,17371	1,000	-502,6466	595,6466
	Zanja Infiltración	1269,0000 [*]	160,17371	,000	719,8534	1818,1466
	Testigo	-2030,0000 [*]	160,17371	,000	-2579,1466	-1480,8534
Testigo	Barrera Viva	2132,7500 [*]	160,17371	,000	1583,6034	2681,8966
	Barrera Muerta	2076,5000 [*]	160,17371	,000	1527,3534	2625,6466
	Zanja Infiltración	3299,0000 [*]	160,17371	,000	2749,8534	3848,1466
	Terraza	2030,0000 [*]	160,17371	,000	1480,8534	2579,1466

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 51311,233.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0,05.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Kg/ Ha
Bonferroni

(I)4 Bloques	(J)4 Bloques	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	2,00	32,6000	143,26372	1,000	-419,0649	484,2649
	3,00	-176,6000	143,26372	1,000	-628,2649	275,0649
	4,00	-377,4000	143,26372	,131	-829,0649	74,2649
2,00	1,00	-32,6000	143,26372	1,000	-484,2649	419,0649
	3,00	-209,2000	143,26372	1,000	-660,8649	242,4649
	4,00	-410,0000	143,26372	,086	-861,6649	41,6649
3,00	1,00	176,6000	143,26372	1,000	-275,0649	628,2649
	2,00	209,2000	143,26372	1,000	-242,4649	660,8649
	4,00	-200,8000	143,26372	1,000	-652,4649	250,8649
4,00	1,00	377,4000	143,26372	,131	-74,2649	829,0649
	2,00	410,0000	143,26372	,086	-41,6649	861,6649
	3,00	200,8000	143,26372	1,000	-250,8649	652,4649

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 51311,233.

Anexo 7. Formato de Encuesta.

EVALUACIÓN DE CUATRO PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DE LABERA EN GUASCA - CUNDINAMARCA

Esta encuesta tiene como objetivo, conocer la opinión y grado de satisfacción de los agricultores participantes del proyecto, con el propósito de determinar la aceptabilidad de las metodologías empleadas para la disminución de pérdidas de suelo causadas por escorrentía superficial.

Nombre:

Edad:

Fecha:

- ¿Cuáles son las actividades productivas que lleva a cabo en su predio?

Agricultura	Pecuario	Agricultura y pecuario	Otro. Cual?
-------------	----------	------------------------	-------------

- ¿Había escuchado, visto, construido o utilizado alguna vez sistemas de terrazas en ladera o zanjas de infiltración? ¿Qué opina sobre estas técnicas?

- ¿Había escuchado, visto, instalado o utilizado alguna vez cultivos con barreras vivas o barreras muertas? ¿Qué opina sobre esta técnica?

Marque con una X: **1, 3 o 5.**

Siendo:

1: no interesado. **3:** medianamente interesado. **5:** Muy interesado.

¿Está usted interesado/a en conservar el suelo de su finca?

1	3	5
---	---	---

¿Le interesaría participar en la instalación y construcción de barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas en ladera, PARA APORTAR A SU APRENDIZAJE?

1	3	5
---	---	---

¿Estaría dispuesto a utilizar estas técnicas en su predio?

1	3	5
---	---	---

¿Cuál de los siguientes aspectos considera que serían determinantes a la hora de implementar técnicas de manejo y prevención de la erosión por escorrentía en su predio?

Inversión económica

Mano de Obra

Otro cual?

Si tuviera que escoger alguna de las técnicas de manejo de la erosión en su predio, ¿Cuál seleccionaría?

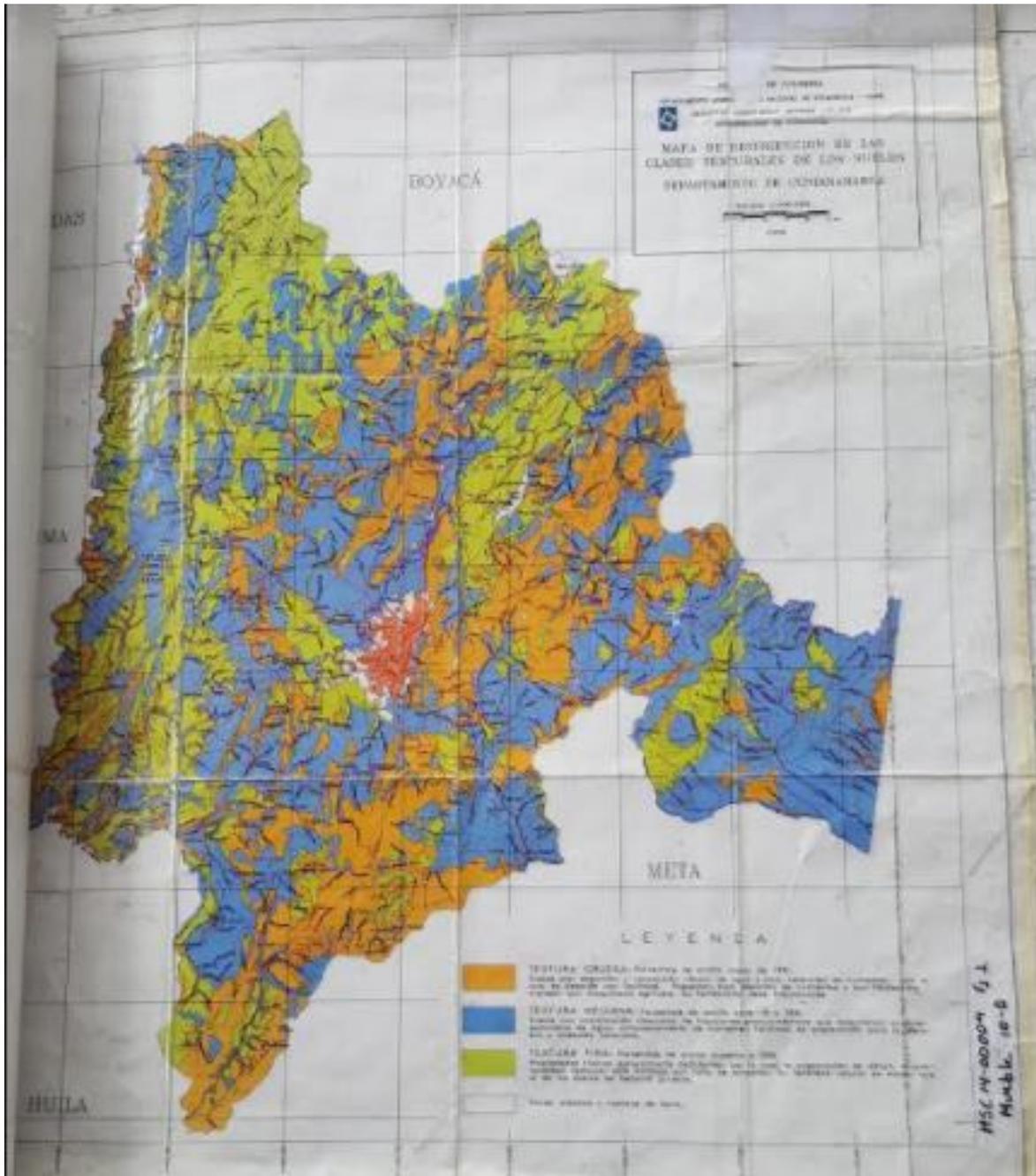
A. Barreras muertas

C. Zanjas de infiltración

B. Barrera vivas

D. Terrazas en ladera

Anexo 8. Mapa de la distribución de la textura de los suelos de Cundinamarca.



Fuente: IGAC (2000).