

Efectividad de cuatro prácticas agroecológicas de conservación de suelos, frente a procesos erosivos hídricos en Guasca – Cundinamarca¹

Eduardo Cortes Prieto², Álvaro Acevedo Osorio³

Resumen

Introducción. Una cuarta parte de los suelos agrícolas del mundo padece algún grado de deterioro, especialmente por factores antrópicos, no obstante, reducir el daño es posible cuando se desarrollan prácticas adecuadas de producción. **Objetivo.** Evaluar la efectividad de prácticas agroecológicas de conservación de suelos de ladera en el municipio de Guasca – Cundinamarca. **Materiales y métodos.** Se establecieron cuatro tratamientos: barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración, terrazas y un testigo, por cada tratamiento se realizaron 4 repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales (UE). Se establecieron cultivos asociados de arveja (*Pisum sativum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y zanahoria (*Daucus carota*), en surcos en contrapendiente, obteniendo 6 surcos por UE. En cada UE se instaló una zanja recubierta con polietileno, con el objetivo de conducir el volumen de agua escurrido y los sólidos arrastrados al recipiente colector final. Del volumen obtenido, después de una respectiva homogenización con un agitador manual, se obtuvieron muestras

de 200 ml para posteriormente secarlas y pesarlas en laboratorio. **Resultados.** Las pérdidas de suelo y agua por escorrentía presentaron un comportamiento variable, lo que puede ser atribuido a la interacción entre la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, textura de suelo, manejo histórico del suelo y la variedad de prácticas de conservación empleadas. **Conclusión.** Todas las prácticas de conservación de suelos implementadas contribuyeron a reducir la pérdida de sedimentos, siendo las zanjas de infiltración la mejor práctica de conservación, presentando una reducción del 87,8 % de las pérdidas frente al testigo.

Palabras clave: erosión, conservación de suelos, agroecología, deterioro del suelo.

1 Artículo original, derivado del trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Agroecología, denominado “Evaluación de cuatro prácticas agroecológicas de conservación de suelos de ladera en Guasca – Cundinamarca, Colombia” financiado por los autores y apoyado con infraestructura por la Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO. Durante el periodo 2016-2017

2 Ingeniero en Agroecología. Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO. Bogotá, Colombia. ORCID: 0000-0001-8358-9559

3 PhD. Agroecología. Departamento de Desarrollo Rural y Agroalimentario. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. ORCID: 0000-0003-2132-4891. Autor para correspondencia: Eduardo Cortés Prieto, Email: ecortespie@uniminuto.edu.co
Autor para correspondencia Recibido: 24/01/2019 Aceptado: 8/07/2019

Effectiveness of four agroecological soil conservation practices against water erosion processes in hillside soils in Guasca–Cundinamarca

Abstract

Introduction. A quarter of the world's agricultural soils suffer some degree of deterioration, especially due to anthropic factors. However, regeneration of soils is possible when conservation strategies are developed. **Objective.** Evaluate the effectiveness of soil conservation agroecological practices in the retention of hillside soils in the municipality of Guasca–Cundinamarca. **Materials and methods.** Four treatments were established: live barriers, dead barriers, infiltration ditches, terraces and a control. For each treatment, four repetitions were performed, for a total of 20 experimental units (EU). Pea (*Pisum sativum*), bean (*Phaseolus vulgaris*) and carrot (*Daucus carota*) crops were established in furrows in counter-slope, obtaining 6 furrows per EU. In each EU a ditch covered with polyethylene was installed, with the aim of driving the volume of drained water and the solids dragged towards a final collector vessel. From the volume obtained, after a respective homogenization with a manual agitator, samples of 200 ml were obtained for subsequent drying and weighing in the laboratory. **Results.** The losses of soil and water by runoff presented a variable behavior, which can be attributed to the interaction among factors such as intensity and frequency of rainfall, soil texture, historical soil management and the variety of conservation practices used. **Conclusion.** All

the soil conservation practices implemented contributed to reduce the loss of sediments, infiltration ditches being the best conservation practice, presenting an 87.8 % reduction in losses compared with the control.

Keywords: erosion, soil conservation, agroecology, soil deterioration.

Efetividade de quatro práticas agroecológicas de conservação de solos contra processos de erosão em Guasca – Cundinamarca

Resumo

Introdução. Uma quarta parte dos solos agrícolas do mundo padece algum grau de deterioro, especialmente por fatores antrópicos, não obstante, reduzir o dano é possível quando se desenvolvem práticas adequadas de produção. **Objetivo.** Avaliar a efetividade das práticas agroecológicas de conservação dos solos de ladeira no município de Guasca – Cundinamarca. **Materiais e métodos.** Estabeleceram-se quatro tratamentos: barreiras vivas, barreiras mortas, trincheiras de infiltração, terraços e um controle, por cada tratamento realizaram-se 4 repetições, para um total de 20 unidades experimentais (UE). Estabeleceram-se culturas associadas de ervilha (*Pisum sativum*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e cenoura (*Daucus carota*), em sulcos em contra pendente, obtendo 6 sulcos por UE. Em cada UE instalou-se uma trincheira recoberta com polietileno, com o objetivo de conduzir o volume de água escorrido e os sólidos arrastados ao recipiente coletor final. Do volume obtido, depois de uma

respetiva homogeneização com um agitador manual, obtiveram-se amostras de 200 ml para posteriormente serem secadas e pesadas no laboratório. **Resultados.** As perdas do solo e água pelo escorrimento apresentaram um comportamento variável, o que pode ser atribuído à interação entre a intensidade e a frequência das precipitações, textura de solo, manejo histórico do solo e a variedade das práticas de conservação empregadas.

Conclusão. Todas as práticas de conservação de solos implementadas contribuíram a reduzir a perda de sedimentos, sendo as trincheiras de infiltração a melhor prática de conservação, apresentando uma redução do 87,8 % das perdas frente ao controle.

Palavras-chave: erosão, conservação dos solos, agroecologia, deterioro do solo.

Introducción

Según la FAO (2011), una cuarta parte de los suelos han sido degradados debido a múltiples factores, principalmente la erosión. Estimaciones determinan que la actividad humana es responsable de la pérdida de, al menos, 26 billones de toneladas de suelos por año, esto es entre 2,60 veces (Verhulst, François y Govaerts, 2010) y 10 veces (Diyabalanage et al., 2017) la tasa natural de degradación del suelo, que es aproximadamente de 2 toneladas por hectárea por año (Nearing et al., 2017). Las proyecciones de erosión para el año 2050, afectarán a 1,50 millones de km² de suelos aptos para la agricultura (FAO, 2015a).

Como fenómeno antrópico (Rengifo *et al.*, 2012, Nearing *et al.*, 2017) la erosión es potenciada por factores sociales, económicos y por políticas gubernamentales inadecuadas (FAO, 2015b, Dumanski, 2015) que se expresan en prácticas insostenibles de producción (León, 2001). En efecto, prácticas de agricultura convencional como la labranza intensiva, especialmente cuando se combina la remoción del suelo con la quema de residuos vegetales, ha magnificado las pérdidas de suelo (Verhulst, François y Govaerts, 2010). La pérdida y degradación

de este recurso avanza de manera acelerada, especialmente por las mayores demandas del desarrollo económico, que, con ese fin, intensifica el uso de tecnologías altamente extractivas (Dumanski, 2015).

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2010), del área destinada a producción agropecuaria en Colombia, el 85 % es vulnerable a procesos erosivos, en suelos específicamente destinados a actividades agrícolas 60 % se encuentran afectados por dichos procesos, de los cuales, 4,60 % presentan erosión severa, lo que significa una pérdida cercana a 1 millón de hectáreas de suelo apto para esta vocación (Ideam y Udca, 2015).

Un estudio realizado por Ideam y Udca (2015) muestra que el 40 % de los suelos colombianos, entre superficie continental e insular (45.379.085 ha), presentan algún nivel de erosión, el 20 % de los suelos se ve afectado con erosión ligera, 17 % con erosión moderada, 3 % con erosión severa y un 0,20 % por erosión muy severa.

Frente a este panorama, existe evidencia de que la regeneración de suelos es posible, especialmente en regiones en las que hay prioridad a la implementación de estrategias

de conservación de suelos (Nyseen, Poesen y Deckers, 2009). Sin embargo, es necesaria la implementación de nuevas estrategias que tengan el menor impacto posible en el entorno y al mismo tiempo no comprometan la productividad, entre ellas son relevantes la labranza cero, la agricultura de conservación y el manejo sostenible del suelo (Peiretti y Dumansky, 2014). De esta manera, Gliessman (2002) afirma que para mantener la productividad en sistemas agrícolas es necesario un enfoque de sostenibilidad, los sistemas sostenibles se caracterizan por tener un efecto significativamente menor en el ambiente, mantener y regenerar la fertilidad del suelo y prevenir la erosión.

Dentro de las formas alternativas de producción agroalimentaria con enfoque de sustentabilidad está la agroecología, la cual representa uno de los enfoques científicos más prometedores para enfrentar los retos ambientales de la agricultura en la actualidad (Altieri y Toledo, 2011) mediante el diseño e implementación de agroecosistemas productivos, resilientes, estables y sostenibles (Socarrás e Izquierdo, 2014). La transición hacia sistemas de producción de base agroecológica tiene como uno de sus principios la minimización de pérdidas de energía, agua, nutrientes y recursos genéticos, a partir de técnicas de conservación y regeneración de suelos y fuentes de agua (Nicholls, Altieri y Vásquez, 2016). Para lograrlo, la agroecología propone la protección e inclusión de materia orgánica, por medio de fertilizantes orgánicos, manejo de siembras escalonadas rotativas, manejo de coberturas y residuos de cosecha y prácticas de labranza adecuadas (Gliessman, 2002).

En este artículo se resalta la importancia de la implementación de prácticas agroecológicas

de conservación de suelos como barreras vivas, barreras muertas, terrazas y zanjas de infiltración y su efectividad en la retención de suelos de ladera en sistemas agrícolas del municipio de Guasca–Cundinamarca, sujetos a procesos de degradación por erosión hídrica.

Materiales y métodos

Antecedentes y localización

El estudio se desarrolló en la finca “Río Chiquito” ubicada geográficamente a 4 ° 52 ‘ 50.20 “ N de latitud y 73 ° 50 ‘ 08.5 “ W de longitud, vereda Santa Bárbara, municipio de Guasca, Cundinamarca, Colombia. La parcela usada para el ensayo ha sido empleada en los últimos 15 años en pastoreo y producción de cultivos forrajeros y transitorios para la alimentación de ganado bovino. Dentro de las principales especies cultivadas con anterioridad se encuentran: avena (*Avena sativa*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), haba (*Vicia faba*) y arveja (*Pisum sativum*). La utilización de maquinaria agrícola pesada para la intervención mecánica del predio y las prácticas convencionales de agricultura han sido las principales prácticas para el manejo del suelo en el predio.

El municipio pertenece a la región del Guavio, ubicado a 2710 msnm, con una temperatura promedio de 13 °C y precipitación media anual de 1720mm. En esta zona es típica la asociación de suelos entre *Typic Melanudands* y *Pachic Melanudands*, pertenecientes al orden de los Andisoles (IGAC, 2000). Con base en información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) entre los años 1975 y 2015, se puede verificar un aumento del 17 % en la cantidad de lluvia anual promedio. En cuanto a la precipitación mensual histórica, los periodos con mayor precipitación son abril-mayo (85mm – 94mm) y octubre-noviembre (82mm – 87 mm), mientras que los meses con mayor sequía son enero y diciembre con 31 mm y 48 mm en promedio respectivamente.

Descripción del diseño experimental

Se desarrolló una investigación experimental con enfoque cuantitativo, para lo cual se implementó un sistema de parcelas divididas (unidades experimentales) completamente al azar, en un terreno de ladera con una pendiente homogénea del 22 %. Posteriormente, fueron establecidos cuatro tratamientos de conservación de suelo: barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración, terrazas y un testigo respectivamente, por cada tratamiento se realizaron 4 repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales (UE), incluyendo las parcelas testigo.

El área correspondiente a cada UE fue de 16 m² (4 m de largo por 4 m de ancho), para, de esa forma ubicar cada tratamiento en el centro y evitar el efecto de borde. El área libre fue destinada al establecimiento de un policultivo con las especies de: arveja, frijol y zanahoria (*Daucus carota*), para la siembra de los cultivos se realizaron surcos en contrapendiente, obteniendo 6 surcos por UE, en los cultivos de arveja y frijol la distancia de siembra fue de 0,25 m, mientras que para la zanahoria se realizó al voleo. En las parcelas 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. Los cultivos se manejaron bajo el sistema de labranza mínima, es decir, sin ningún tipo de manejo adicional a la siembra y la cosecha. Y sin ningún tipo de fertilización.

Para la construcción e implementación de cada práctica de conservación se realizó el trazo de curvas de nivel con agronivel tipo A, la distancia entre curvas fue de 2 m.

Construcción de terrazas. Se implementaron terrazas de base angosta, para lo cual se adoptó la metodología planteada por Hesse-Rodríguez (1994) que consiste en determinar un límite de corte y uno de relleno a través de las curvas de nivel, así como el ancho de estas, para la investigación fue de 2 m. Luego de remover el suelo y formar las terrazas, en el talud de cada una y con el propósito de dar estabilidad se llevó a cabo la siembra de pasto rye Grass® (*Lolium multiflorum*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Posteriormente, se incorporó materia orgánica al suelo y finalmente se protegió con restos de cosecha, para evitar la exposición directa del suelo a la radiación y precipitación, finalizados quince días se realizó la siembra de los cultivos.

Construcción de zanjas de infiltración. La construcción se llevó a cabo siguiendo las curvas nivel y de forma transversal a la pendiente, en cuanto a parámetros técnicos se siguió lo sugerido por Pizarro, Flores, Sangüesa, Martínez y León (2008), obteniendo zanjas de infiltración con un largo de 4 m, profundidad de 0,50 m y ancho superior de 0,50 m, el suelo excavado se incorporó y compactó en la parte inferior de cada zanja para evitar cortar la pendiente.

La implementación de los cultivos se realizó quince días después de la construcción con el propósito de obtener estabilidad en el suelo.

Instalación de barreras vivas y muertas.

La metodología base fue la planteada por Hesse-Rodríguez (1994), es así que por medio de las curvas de nivel se realizaron surcos de 0,2 m de ancho y con profundidad de 0,15 m, se incorporó materia orgánica y posteriormente la siembra del pasto comercial rye grass® (*Lolium perenne*), la siembra de las barreras vivas se realizó veinte días antes de la implementación de los cultivos principales, con el objetivo de obtener un desarrollo radicular y foliar previo. Para las barreras muertas, igualmente se tuvieron en cuenta las curvas de nivel y se llevó a cabo la incorporación y fajamiento de madera seca, evitando el menor espaciamiento posible entre cada pieza empleada. Cada sección de barrera muerta tenía un ancho de 0,20 m.

Con el propósito de prevenir la interferencia e influencia entre las UE, estas se separaron por medio de zanjas, cuya función fue conducir el agua de escorrentía ajena al área de estudio fuera del sistema, adicionalmente al final de cada UE se instaló 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 20 L. Del volumen obtenido, después de una respectiva homogenización con un agitador manual, se obtuvieron muestras de 200 ml para su posterior análisis en laboratorio.

Por otro lado, el valor de la precipitación incidente durante la investigación se obtuvo mediante un pluviómetro, ubicado en el centro del área de estudio, realizando el registro de los mm precipitados por cada

fenómeno de incidencia, durante los 4 meses que tomó el trabajo en campo.

Fase de laboratorio

Con las alícuotas obtenidas en campo, se llevó a cabo la separación del material sólido del líquido, en el laboratorio de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, para el cual se empleó un tamiz de suelos de 45 µm. El material sólido se depositó en cajas de Petri, que a su vez se llevaron al horno durante 12 horas a 120 °C para realizar el respectivo secado. La información obtenida se extrapola para determinar las pérdidas de suelo en kg por ha.

Análisis estadístico

Finalmente, los datos obtenidos se sometieron a análisis estadístico Anova, realizado en el programa SPSS® versión 20. Adicionalmente se realizó un análisis de correlación en Excel® (regresión lineal, exponencial, logarítmica, de segundo grado), con relación a la pérdida de suelo frente a la precipitación obtenida durante la investigación.

Resultados

La intensidad de las precipitaciones representa un factor determinante respecto a la pérdida de suelo. Durante el mes de marzo se registró la mayor cantidad de precipitaciones, sin embargo, las mayores pérdidas de sedimentos se registraron en el mes de febrero con 16162 kg/ha frente a 15603 kg/ha en marzo (Figura N° 1).

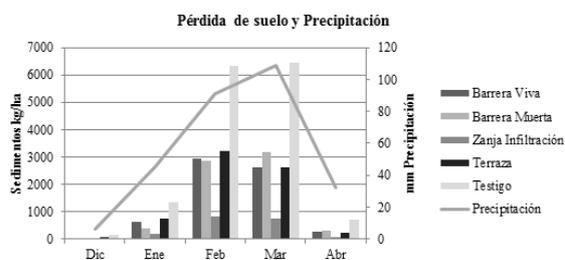


Figura N° 1. Pérdida suelo por erosión por mes

Fuente: elaborado por los autores.

Durante el desarrollo de la investigación, la recolección de sedimentos en cada uno de los tratamientos fue menor, respecto a las parcelas testigo con un promedio de 3757 kg/ha (Tabla N° 1), comportamiento que evidencia el control de cualquier práctica de conservación en suelos de ladera. Sin embargo, el tratamiento que presenta menores pérdidas de sedimentos corresponde a las zanjas de infiltración con un promedio de 458 kg/ha.

Tabla 1. 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

Fuente: elaborado por los autores.

Estadísticamente las parcelas testigo son las que presentan un comportamiento diferente respecto a los demás tratamientos (Tabla 2). Las zanjas de infiltración con registros de pérdida de sedimentos más bajos (485 kg/ha) corresponden a la práctica de conservación que estadísticamente presenta diferencia significativa respecto a los demás tratamientos. Los sistemas de terrazas, barreras vivas y barreras muertas no presentan diferencias significativas, es decir, su efectividad es similar.

Tabla 2. 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	

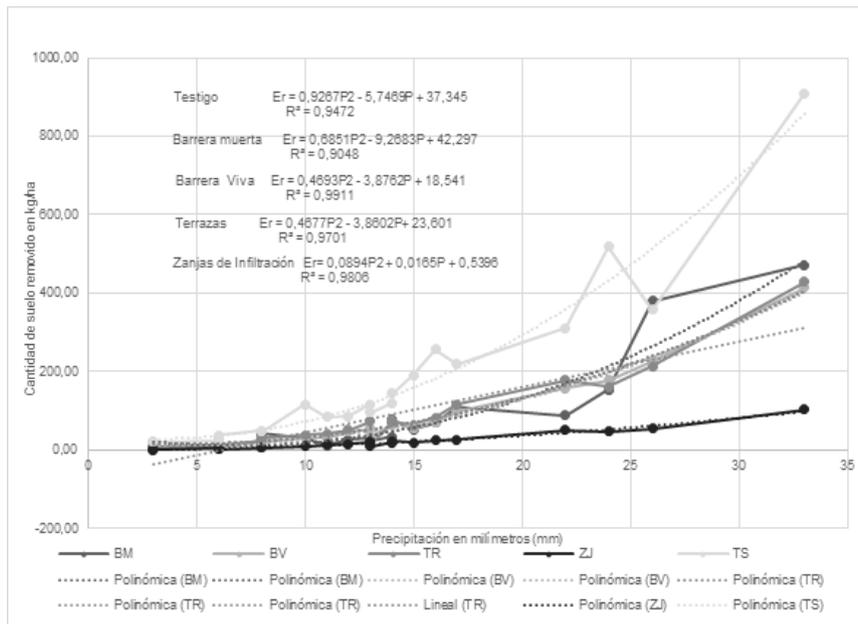
a: menor efectividad, **b:** mayor efectividad. Valores con la misma letra misma efectividad.

Fuente: elaborado por los autores.

Por medio del análisis de regresión sobre la cantidad de sedimentos en función de la intensidad de las precipitaciones (Figura 2), se obtuvo una función de segundo grado con coeficiente R^2 superior al 95 % en prácticamente todos los tratamientos. El cual permite establecer el efecto que tiene cualquier práctica de conservación

frente al testigo. Sin embargo, el efecto de las zanjas de infiltración es el de mayor efectividad respecto a las demás prácticas de conservación.

Figura 2. Cantidad de suelo en kg/ha en función de la precipitación en mm y sus líneas de tendencia



Fuente: elaborado por los autores.

Discusión

Las pérdidas de suelo y agua por escorrentía presentaron un comportamiento variable, lo que puede ser atribuido a la interacción entre factores como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, textura de suelo, manejo histórico del suelo y la variedad de prácticas de conservación empleadas (Álvarez y Fernández, 2009). Para esta investigación las pérdidas de suelo fueron de 3757 Kg/ha en los testigos, en suelo con textura franco-arcillosa.

La precipitación presentó los valores más altos en el mes de febrero con promedios

semanales y diarios de 55 mm y 33 mm, respectivamente. Resultados afines a lo descrito por Álvarez y Fernández (2009), quienes indican que precipitaciones con intensidades de 30 mm/h conllevan a pérdidas de suelo de alrededor de 2228 kg/ha, mientras que a 10 mm/h se pueden registrar 626 kg/ha. Sin embargo, las pérdidas podrían llegar a ser mayores en otras épocas del año donde los niveles de precipitación son mayores, como son los periodos de abril-mayo y octubre-noviembre, según lo descrito respecto a características climáticas de la región.

Las zanjas de infiltración corresponden al tratamiento que presenta menores pérdidas

de sedimentos, con un promedio de 458 kg/ha, resultado que concuerda con lo referido por Flores (2015), quien menciona el comportamiento favorable de esta técnica, además resalta que, a mayor área de implementación, mayor es su efectividad en la captura de sedimentos. Sin embargo, autores como Cotler, Cram, Marínez y Bunge (2015), consideran que las zanjas de infiltración no están dentro del concepto de práctica de conservación de suelo, como consecuencia de los impactos generados al momento de su elaboración, tales como la exposición de la capa excavada a procesos erosivos hídricos y eólicos, además del efecto negativo sobre el carbono orgánico edáfico, el cual se encuentra en un 50 % a una profundidad de 40 cm. Bajo esta percepción los autores consideran que no es posible entender las zanjas de infiltración como técnicas de conservación de suelo debido a que no mejoran la calidad del suelo sino que esta es una práctica encaminada a controlar la escorrentía. No obstante, Pizarro, et al. (2008) consideran que la implementación de cultivos en combinación con zanjas de infiltración, aportan a la recuperación de suelos degradados por procesos erosivos y de desertificación. Es decir, las zanjas de infiltración podrían considerarse como estrategias de conservación de suelos al ser utilizadas con otras prácticas, siempre y cuando sigan tres principios básicos: beneficiar la cobertura vegetal del suelo, mejorar la infiltración del agua y disminuir el volumen y velocidad de la escorrentía superficial, evitando la pérdida de partículas sólidas del suelo (Carrasco y Riquelme, 2003). Un ejemplo de los beneficios, producto de la complementariedad entre diferentes prácticas para la conservación de agua y suelos, es lo encontrado en el estudio realizado por un periodo de 12

años, en las tierras altas de la cuenca Upper Mahaweli, Sri Lanka, por Diyabalanage *et al.* (2017), quienes determinan que al combinar prácticas de conservación de suelo mecánicas y agronómicas se logra una disminución de hasta 5 veces en el volumen de escorrentía. Sin embargo, en cuanto a los sedimentos los valores altos persisten, por tal motivo, los autores recalcan la necesidad de fortalecer y potencializar las prácticas de conservación de suelos junto a la reforestación.

De otro lado, las barreras muertas presentaron pérdidas de suelo menores a las encontradas en barreras vivas y terrazas en el mes de febrero, siendo este último tratamiento el que tuvo las mayores pérdidas de suelo. El comportamiento de estas tres prácticas de conservación se puede relacionar con el material empleado, que consistió en madera y restos de cosecha, al ser material orgánico, el proceso de descomposición debilita las estructuras que retienen la barrera muerta y la terraza. Este material se ha empleado en proyectos enfocados en conservación de suelos en República Dominicana, la función de estos restos vegetales es disminuir la longitud de pendiente del terreno a medida que se incorpora material al horizonte superficial del suelo, lo que disminuye la velocidad de agua de escorrentía cuando se presentan lluvias fuertes y como consecuencia las pérdidas de sedimentos disminuyen (May, 2011). Pese a la utilización de rocas como material principal de barreras muertas, esta no es una garantía de mayor efectividad, ya que se ha encontrado pérdida persistente de suelo y agua, además parte de los sedimentos capturados son incluso retenidos o almacenados en estrechas franjas al final de las tierras de cultivo, es decir, en áreas no aprovechables (Nyseen et al., 2009).

Los sistemas de terrazas son reconocidos como alternativas efectivas frente al control de la erosión, según la FAO (2000), es posible la reducción de pérdidas de suelo hasta en un 50 % bajo prácticas de terrajeo, independientemente de los cultivos implementados en estos sistemas. Aun así, la investigación refleja que fueron la segunda práctica con mayor pérdida de sedimentos (1727 kg/ha) después del testigo, este fenómeno puede ser entendido como consecuencia de la insuficiente estabilidad estructural con la que contaban las terrazas, debido a que el tiempo entre la construcción e inicio de toma de información fue corto.

Por otro lado, las barreras vivas presentaron un comportamiento similar a las terrazas y barreras muertas, lo que se atribuye a la estabilidad y adaptabilidad del material vegetal a la zona. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las barreras vivas son consideradas como técnica de conservación y estabilización de suelos con un efecto a mediano y largo plazo, debido a que reducen la pendiente del terreno por medio de la formación lenta de pequeñas terrazas gracias al desarrollo radicular abundante y frondoso de algunas especies, es decir su eficacia está directamente relacionada con las especies vegetales utilizadas (Carrasco y Riquelme, 2012). En un estudio realizado por Alvarado, López y Castillo (2011) en el departamento de Nariño, una de las especies más utilizadas como barrera viva es el pasto brasilero (*Phalaris sp.*), el cual presenta pérdidas promedio de 164,55 kg/ha debido a su capacidad de sellado que tiene sobre el suelo.

Las pérdidas de suelo en las diferentes UE descendieron en los dos últimos meses de la investigación, hecho relacionado con la

estabilidad de los tratamientos y al manejo de los cultivos bajo labranza mínima. Verhulst et al., (2010) sugieren el potencial que tienen las prácticas de agricultura de conservación, debido al incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, que, junto a otras prácticas como la utilización de residuos de cosecha, tienen influencia en la protección del impacto directo de las gotas de lluvia, la mejora en la estabilidad de agregados, la disminución de la velocidad de agua de escorrentía y el aumento del tiempo para la infiltración del agua. La adopción de prácticas de agricultura de conservación, específicamente labranza mínima, y labranza cero, ha tenido gran acogida en países como Argentina, país en el que la mayor parte de las tierras cultivadas y por ende la producción total es bajo este enfoque, además este sistema representa entre el 10 % y 12 % del área cultivada mundial (Peiretti y Dumanski, 2014).

Por otra parte, al analizar los resultados con investigaciones semejantes existen limitantes, debido a la variedad de metodologías y conceptos empleados. Como consecuencia se hace necesario el desarrollo y adopción de metodologías que trasciendan del enfoque cuantitativo, y que además, comprendan la conservación de suelos desde un enfoque de sustentabilidad, un ejemplo es el método para medir la adopción de prácticas agrícolas sostenibles ASAP (por sus siglas en inglés) propuesta por Castaño, Meulenberg, y Van Tilburg (2002), quienes logran distinguir diferentes grados de sostenibilidad por medio del análisis de la cantidad de prácticas agrícolas sostenibles adoptadas sobre la relevancia y pertinencia a las condiciones particulares de cada agricultor, es decir, cuanto más pertinentes sean las prácticas sostenibles mayor será el grado de sostenibilidad del suelo.

Con respecto a la implementación de prácticas de conservación de suelos, además de las empleadas en la investigación Mekuriay, Heinimann, Zeleke, y Hurni (2018), puntualizan los factores que determinan la adopción de estructuras de conservación de suelo y agua en las tierras altas de Etiopía, estos corresponden al desconocimiento para la instalación y mantenimiento, la expresión a largo plazo de los beneficios de su implementación, la limitada utilidad económica a corto plazo, factores políticos como baja participación del gobierno y escaso apoyo técnico. En este sentido, existe potencial para determinar si estos factores tienen influencia en Colombia, o si, por el contrario, existen otras variables que influyen directa o indirectamente en la adopción y comprensión de la importancia de la conservación del suelo por parte de los productores.

Finalmente, para promover el uso de estas estrategias de conservación de suelos y en general de una transición agroecológica en Colombia, es necesario entender que la degradación del suelo es una de las externalidades negativas de la agricultura convencional, como consecuencia de la utilización de tecnologías exógenas provenientes de un modelo de investigación y transferencia vertical y unidireccional de la revolución verde (Guzmán y Alonso, 2007). Frente a este modelo se presenta la recuperación de la extensión rural alternativa, cuyo objetivo es la sustentabilidad, entendiendo al desarrollo sustentable como una construcción multidimensional (ecológica, social, cultural ética, política y económica) y que además es dinámica y compleja. Igualmente abre la posibilidad de articulación entre las comunidades rurales y la academia (Alemany y Sevilla, 2007). Lo que implica una oportunidad para la

transmisión y generación de conocimiento en prácticas de conservación de suelo con enfoque agroecológico, debido al aporte de esta disciplina a la soberanía territorial, autonomía de mercados, movilidad social y organizacional (Rosset y Martínez, 2016).

Conclusiones

Este estudio resaltó la efectividad de las barreras vivas, barreras muertas, zanjas de infiltración y terrazas como prácticas agroecológicas de conservación en la retención de suelos de ladera en el municipio de Guasca – Cundinamarca.

La zanja de infiltración corresponde al tratamiento que presenta menores pérdidas de sedimentos, con un promedio de 458 kg/ha, mientras que la terraza, en contraste, fue la práctica con las mayores pérdidas de suelo con 3175 kg/ha.

Todas las prácticas de conservación de suelos implementadas contribuyen a reducir la pérdida de sedimentos por erosión. Sin embargo, las zanjas de infiltración son la práctica de conservación que evidenció un mejor control, presentando una reducción en las pérdidas de suelo del 87,80 % frente a los testigos.

Tanto la escorrentía superficial como la erosión presentan una relación directa con las precipitaciones, ya que a mayor precipitación mayor es la pérdida de suelo y agua.

La estabilidad y tiempo de implementación de cada una de las estrategias de conservación la cual varía de prácticas agronómicas (barreras vivas, barreras muertas) a prácticas mecánicas (zanjas de infiltración, terrazas

en ladera), es una variable que determina la efectividad de las mismas en diferentes periodos de tiempo.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores informan que no existen conflictos de intereses en el desarrollo del proyecto de investigación mencionado.

Agradecimientos

Al profesor Mario Molano de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO y a Viviana Vargas, estudiante de Ingeniería Agroecológica de la misma institución universitaria, que contribuyeron decididamente con esta investigación.

Referencias

- Alemany, C. y Sevilla, E. (2007). ¿Vuelve la extensión rural? Reflexiones y propuestas agroecológicas vinculadas con el retorno y fortalecimiento de la extensión rural en América Latina. *Realidad Económica*, (227), 52-74.
- Altieri, M.A. y Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3): 587-612. <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947>
- Alvarado, K., López, V. y Castillo, J. (2011). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 6472.
- Álvarez, J. y 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.
- Carrasco, J. y Riquelme, J. (2003). Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas. Santiago, Chile: INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Carrasco, J. y 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 de Chile: INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Castaño, J., Meulenberg, M. T. G. y Van Tilburg, A. (2002). A new method of measuring the adoption of soil conservation practices, theory and applications. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 50(1), 95-114. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(02\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(02)80006-9)
- Cotler, H., Cram, S., Martínez, S. y Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas de trincheras. *Investigaciones Geográficas*, (88), 6-18.
- Diyabalanage, S., Samarakoon, K.K., Adikari, S.B. y Hewawasam, T. (2017). Impact of soil water conservation measures on soil erosion rate and sediment yields in a tropical watershed in the Central Highlands of Sri Lanka. *Applied*

- Geography*, (79),103-114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.12.004>
- DNP. (2010). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014: Prosperidad para todos. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Dumanski, J. (2015). Evolving concepts and opportunities in soil conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, (3), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.04.002>
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Roma.
- 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. (2015a). *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. (2015b). *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/>
- Flores, J. (2015). *Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en cuencas subhúmedas de Chile Central*. Universidad de Córdoba, España.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Guzmán, G. y Alonso, A. (2007). La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas*, XVI(1), 0.
- Hesse-Rodríguez, M. (1994). *Sembradores de Esperanza. Conservar para Cultivar y Vivir*. Tegucigalpa: Guaymuras y COMUNICA.
- IDEAM y 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.
- León, J. (2001). *Estudio y control de la erosión hídrica*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- May, T. (2011). Dificultades para la apropiación de técnicas de conservación de suelo en la zona de montaña de Republica Dominicana. *Ambiente y Desarrollo*, 15(29).
- Mekuriaw, A., Heinimann, A., Zeleke, G. y Hurni, H. (2018). Factors influencing the adoption of physical soil and water conservation practices in the Ethiopian highlands. *International Soil and Water Conservation Research*, (6), 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.12.006>
- Nearing, M.A., Xie, Y., Liu, B. y Ye, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, (5), 77-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.001>

- Nicholls, C., Altieri, M.A. y Vásquez L. (2016). Agroecology: Principles for the Conversion and redesign of Farming Systems. *Journal of Ecosystem and Geography*, <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>
- Nyseen, J., Poesen, J. y Deckers, J. (2009). Land degradation and soil water conservation in tropical highlands. *Soil and Tillage Research*, (103), 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.002>
- Peiretti, R. y Dumanski, J. (2014). The transformation of agriculture in Argentina through soil conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(1), 14-20. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30010-1](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30010-1)
- Pizarro, R., Flores, J., Sangüesa, C., Martínez, E. y León, L. (2008). Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Revista Bosque*, 29(2), 136-145.
- Rengifo, E., Palencia, C., Mantilla, B., Guiza, P., Castilla, C. y León, E. (2012). Estimación de la pérdida de suelo por erosión en sistemas agroforestales. *Suelos Ecuatoriales*, 42(1), 56-61.
- Rosset, P. y Martínez, M. (2016). Agroecología, territorio, recampesinización y movimientos sociales. *Estudios Sociales*, 25 (47), 274-299.
- Socarrás, A. y Izquierdo, I. (2014). Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. *Pastos y Forrajes*, 37 (1), 47-54.
- Verhulst, N., François, I. y Govaerts, B. (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems?. México: CIMMYT.