

Evaluación comparativa de pérdidas de suelo en el corredor biológico entre parques nacionales Puracé y Cueva de los Guácharos en el Huila

Comparative evaluation of soil loss in the biological corridor between the Purace National park and the guacharos cave in Huila

Camilo Augusto Agudelo Perdomo¹; Armando Torrente Trujillo²; Adriana Vargas³

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.168>

Fecha de recibo: 23-01-2015 Fecha de aceptación 20-08-2015

RESUMEN

El propósito de la investigación fue evaluar las pérdidas de suelo en parcelas experimentales del corredor biológico entre Parques Nacionales Naturales Puracé y la Cueva de los Guácharos en el departamento del Huila, en cultivos con manejo tradicional frente a manejo alternativo, resultados que fueron validados mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Se realizó la medición de las pérdidas de suelo y se registraron las lluvias en un periodo de cuatro meses, calificando el periodo de lluvias como suaves, resultando mayor la erosión en el cultivo de café convencional ($1,14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), seguido de mora convencional ($0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) con diferencias significativas atribuidas al manejo de las coberturas. En cultivos con prácticas de labranza cero resultaron las menores pérdidas ($0,37 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) en comparación con el manejo convencional ($0,53 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), estos últimos incluyen quema, remoción de la cobertura y movimiento superficial del suelo. En los tratamientos con ganadería extensiva y semi-estabulada no se presentaron diferencias significativas en la erosión del suelo. No existe correlación significativa entre las pérdidas de suelo estimadas USLE y las medidas en las parcelas de escorrentía.

Palabras clave: erosión; conservación del suelo; degradación del suelo; producción sostenible.

ABSTRACT

The purpose of the research was to evaluate soil loss in experimental plots in the Biological Corridor between National Parks Purace and the Cave of the Guacharos in the department of Huila in crops with traditional management versus alternative management; results that were validated by the Universal Soil Loss Equation. Measurement of soil loss was performed and the rains were registered over a period of four months, qualifying the rainy season as mild, resulting in increased erosion in growing conventional coffee ($1.14 \text{ t ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$), followed by conventional blackberry ($0.99 \text{ t ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) with significant differences attributed to management of coverage. In crops with tillage practices there were minor losses ($0.37 \text{ t ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) compared to the conventional management ($0.53 \text{ t ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$), the latter include burning, removal of surface coverage and soil movement. In treatments with ranching and semi-stabled no significant differences were found in soil erosion. There is no significant correlation between soil losses USLE estimated and measures in runoff plots.

Keywords: Erosion; Soil conservation; Soil degradation; Sustainable production.

¹ Colombiano. Maestría en Sistemas de Producción Agropecuaria, vinculado a ONF-Andina. Correo electrónico: agudelocamil@gmail.com

² Colombiano. Ph.D. Profesor Titular Universidad Surcolombiana – Neiva, Grupo de Investigación Hidroingeniería y Desarrollo Agropecuario-GHIDA. Correo electrónico: armator@usco.edu.co

³ Colombiana. Ingeniera Agrícola, Universidad Surcolombiana. Correo electrónico: adriana.vargas@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los procesos de pérdidas del suelo, especialmente en zonas de ladera, tienen un amplio efecto en las cuencas del territorio nacional donde se presentan altos porcentajes de erosión, remoción en masa y/o sedimentación, entre los que se destaca la cuenca del río Magdalena con valores muy altos de degradación. Por esta razón, diversas entidades se propusieron investigar este fenómeno y las prácticas que favorecen la conservación del recurso suelo y cuyos primeros resultados han conducido a la formulación e implementación de estrategias en zonas de gran presión por las prácticas indebidas de manejo y explotación. El Proyecto Corredor Biológico (PCB) que está ubicado entre los parques nacionales naturales Puracé y Cueva de los Guácharos, usa como uno de sus ejes centrales para la conservación de la diversidad biológica y cultural la estrategia, el conocimiento y el manejo de ecosistemas naturales y sistemas de producción agropecuaria establecidos como sistemas productivos sostenibles que ayudan al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades (Cerquera y Will, 1991).

Los sistemas de producción representan unidades en las que los agricultores toman las decisiones para garantizar el bienestar de la familia a partir de la explotación de los recursos naturales; cualquier estrategia que pretenda garantizar procesos de conservación, deberá considerar la importancia de los sistemas productivos, entender su funcionamiento, identificar sus deficiencias, tanto ambientales como económicas, y realizar propuestas concretas para mejorar la eficiencia de estos sistemas en su capacidad de reproducir el bienestar social y garantizar la conservación de los recursos (Gema, 2006).

En el PCB se determinaron las pérdidas de suelo en ocho arreglos productivos, y se evaluó la efectividad de los sistemas productivos convencionales y alternativos con implementación de prácticas de conservación de suelos. Se dispuso con la información precisa de la erosión y su relación con los arreglos productivos evaluados, que sirvió como soporte para la toma de decisiones para toda la región de la cuenca del Alto Magdalena.

MARCO CONCEPTUAL

El Proyecto Corredor Biológico. El área del PCB está inscrita dentro del “Gran Macizo Colombiano”, pertenece a la reserva de la biósfera Cinturón Andino, declarada por la UNESCO en 1979, en el marco del Programa sobre el Hombre y la Biósfera (MAB) de la Red Mundial de Reservas; hacen parte de ella los parques nacionales naturales Puracé, Nevado del Huila y Cueva de los Guácharos, garantizando su conectividad. La degradación ambiental del Macizo se

originó por varios factores, entre los cuales se destacan: La pobreza, la falta de alternativas de producción viables, el desconocimiento de la importancia y fragilidad de los recursos naturales y la presión del conflicto armado.

En la zona de jurisdicción del PCB se conjugaron varias situaciones: Las precipitaciones anuales que en algunas partes alcanzaron los 3100 mm, altas pendientes ($S > 25\%$), indicadores de calidad de vida por debajo del promedio nacional, el cultivo de café fue la principal fuente de ingresos de los pequeños productores, lo que constituyó un escenario típico de la problemática de zona de ladera, sumado a su potencial hidrográfico de importancia estratégica para el país. En el marco del Proyecto se desarrolló una línea de acción denominada Implementación de Sistemas Productivos Sostenibles, cuyo objetivo fue modificar las prácticas productivas de utilización de los recursos naturales en la búsqueda de un modelo de desarrollo para la región, caracterizado además por la conservación de los valores ambientales y junto a este, el mantenimiento de adecuados niveles de bienestar social.

Los Sistemas Productivos Sostenibles. Son aquellos procesos de producción y/o extracción compatibles con la lógica de la conservación del entorno natural y que articulados a procesos de concertación social y conservación de áreas naturales permiten la reducción de la presión sobre las áreas naturales. En este sentido, los Sistemas Productivos Sostenibles como mecanismos de conservación efectiva le apuntan al propósito de incidir en los procesos de desarrollo local desde las parcelas, los paisajes, los territorios y las regiones. El proceso se desarrolló desde un enfoque de investigación y planeación participativa que parte de caracterizar el sistema productivo estructural y funcionalmente, analizó las tendencias sostenibles e insostenibles y propuso alternativas orientadas a lograr la sostenibilidad económica, ambiental y social de los sistemas productivos.

La propuesta incluyó prácticas de ganadería semiestabulada, siembra de curvas a nivel, mantenimiento de la cobertura del suelo, abonos verdes, y sistemas agroforestales y silvopastoriles, así como la conservación de importantes áreas naturales. Esta estrategia buscó responder a causas que generan presión real sobre los ecosistemas naturales como son los sistemas productivos insostenibles (ganadería extensiva, frutales de clima frío, café, entre otros).

Investigaciones sobre pérdidas de suelo en Colombia. Se han realizado múltiples estudios sobre pérdida de suelos en zonas de ladera, principalmente en café. Suárez (1998), determinó las pérdidas de suelo por erosión en cultivos de semibosque (café), densos (caña) y transitorios (yuca y piña), bajo diferentes sistemas de

manejo. Observó que el uso (tipo de cultivo), tiene que ver con las mayores o menores pérdidas de suelo por erosión. Las mayores pérdidas de suelos fueron para el cultivo de la yuca ($3,52 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), mientras las menores pérdidas fueron para la caña ($0,45 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), sin embargo, la información sigue siendo muy limitada y no es suficiente para apoyar los procesos de toma de decisiones en el sector agropecuario.

Uribe (1971), determinó las pérdidas comparativas de suelo por erosión en cultivos de café Borbón al sol con una pendiente del 60%, en un suelo derivado de cenizas volcánicas (Melanudands). El estudio demostró cómo las pérdidas de suelo donde se usa herbicidas en forma generalizada, es tres veces mayor que donde se usa el azadón.

En la zona cafetera colombiana, la causa principal que conduce a la erosión acelerada de los suelos y a la pérdida de agua por escorrentía y contaminación de la misma con el arrastre de sedimentos, son los sistemas tradicionales de desyerba de los cultivos con el uso del azadón y de herbicidas, aplicados en forma generalizada y reiterada. Las pérdidas de suelo donde se usa herbicidas en forma generalizada, son tres veces mayores que donde se usa el azadón. Los herbicidas fueron introducidos en la zona cafetera a partir de 1970 (Rivera y Gómez, 1993).

Corpoica (2006) determinó el coeficiente de erosividad R para la Orinoquia colombiana, clasificando la precipitación con una capacidad erosiva media alta. El índice de erodabilidad K fue hallado (0,082) clasificando el suelo como ligeramente erodable. Paralelamente fueron hallados coeficientes de cultivo C para maíz (0,34), pasto (0,02), arroz (0,27) y soya (0,24), observándose una relación inversa entre el porcentaje de cobertura y el valor de este parámetro. Finalmente, se determinó la pérdida total de suelo mediante USLE, siendo las pérdidas menores en el tratamiento con pasto que en el suelo desnudo. Las pérdidas de suelo mediante la ecuación universal de pérdidas de suelos (EUPS) subestima para todos los casos la pérdida de suelo real. Así, para suelo desnudo y pasto *Brachiaria*, la pérdida real de suelo alcanzó $96,4 \text{ t ha}^{-1}$ y $2,3 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente, mientras la estimación por EUPS fue de $25,27$ y $0,6 \text{ t ha}^{-1}$ (Almanza y Arguello, 2006).

En Cenicafé se evaluó el riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del departamento de Caldas y se encontró que cerca del 90% del área de estudio es susceptible a pérdidas de suelo superiores a $25 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Ramírez, 2006).

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo – USLE. Esta ecuación representó un instrumento valioso y eficaz durante casi cuarenta años. Por sus cualidades se utilizó con fines para los que no estaba concebida, lo que ha

motivado a veces que sea objeto de críticas injustificadas. Hubo un momento en que esto indujo al autor del sistema a explicar cómo se debería utilizar. Su finalidad es muy sencilla y concreta, proporciona un cálculo de la media de la pérdida anual de suelo bajo diversas condiciones de cultivo. La aplicación de este cálculo le dio a los agricultores y a los técnicos en conservación de suelos la posibilidad de elegir combinaciones de usos de la tierra, prácticas de cultivo y prácticas de conservación, para que el suelo mantenga pérdida a un nivel aceptable (Wischmeier y Smith, 1978; Fournier 2011).

METODOLOGÍA

Localización. La investigación se desarrolló en los municipios de Palestina y Pitalito al sur del departamento del Huila, Colombia, en las estribaciones del Macizo Colombiano ($1^{\circ} 44' \text{ LN}$ y $76^{\circ} 07' \text{ LW}$) con alturas desde los 1300 hasta los 3000 m.s.n.m. La temperatura media osciló entre $16^{\circ} \text{C} - 23^{\circ} \text{C}$, con una humedad relativa media del 90%. Según las zonas de vida de Holdridge se clasificó en bosque húmedo montano bajo (bh-MB) (Gobernación del Huila, 2005).

Parcelas de escorrentía. Se construyeron 27 parcelas de escorrentía, representativas del manejo alternativo de los cultivos y el tradicional de la zona, con el fin de cuantificar y comparar las pérdidas de suelos en los diferentes arreglos. En las parcelas de Jericó y Pinos (Palestina) los bordes se construyeron en concreto y marengo (Pitalito), y en madera para proporcionarle al ganado un ambiente más natural, y de esta manera se aseguró la entrada del mismo en las parcelas Figura 1.



Figura 1. Parcelas de escorrentía en el Corredor Biológico

Arreglos productivos implementados. Para evaluar las pérdidas de suelo se seleccionaron escenarios con niveles de cobertura y manejos diferentes, se determinaron los niveles de erosión que ocasionaron las prácticas agrícolas establecidas en las áreas. En la Tabla 1 se presentan los arreglos productivos sostenibles y los tradicionales que implementaron los agricultores de la zona.

Tabla 1:
Sistemas productivos evaluados

Sistemas Productivos	Tradicional	Alternativo	Dimensión (m x m)
Café	Convencional	Bajo sombra	8x2
Mora	Convencional	Barreras vivas	6x4
Ganadería	Extensiva	Semiestabulada	6x4
Cultivos semestrales	Labranza convencional	Labranza cero	8x2

Fuente: Los Autores.

Arreglos establecidos por el Proyecto Corredor Biológico.

En este proyecto se establecieron los siguientes arreglos:

- **Sistema alternativo mora con barreras vivas.** Se disminuyó la velocidad de escorrentía y la erosión, lo cual sirvió para conducir los escurrimientos a velocidades no erosivas a cauces de arroyos naturales o a cárcavas estabilizadas.
- **Sistema silvopastoril. Ganadería semiestabulada.** En este sistema productivo se permitió el paso de los animales a los lotes en determinados horarios y el resto del tiempo permanecieron en los establos. Adicionalmente, se realizó una rotación que consistió en dividir el lote en cuatro partes para mantener los animales en cada potrero durante 15 días, y permitir el descanso de cada uno de los lotes restantes por 45 días, con el fin de que la cobertura se recuperara del desgaste ocasionado por la permanencia de los animales en el mismo.
- **Sistema agroforestal. Café bajo sombra – cubierta de chachafruto.** Se sembraron árboles de chachafruto intercalados (60 árboles por hectárea en disposición de 9 m x 8,5 m) entre las filas del cultivo de café (3782 árboles por hectárea en disposición de 1,5 m x 1,7 m) con el fin de proveer sombrero. El grado de protección que ofrecieron los agroforestales, estuvo ligado al desarrollo vegetativo de los árboles de chachafruto, dado que el diámetro del follaje aumentó a medida que el árbol creció.
- **Siembra de cultivos semestrales con labranza mínima (maíz asociado con fríjol).** En este tipo de arreglo se ensayó la labranza mínima en el terreno para evitar la remoción del material y de la misma forma, se evitaron las quemadas para conservar la cobertura del suelo. En las parcelas se realizaron mediciones de pendiente del terreno, análisis físicos e hidrodinámicos del suelo.
- **Análisis de suelos.** Las muestras de suelo se recolectaron en las distintas parcelas seleccionadas en los primeros 30 cm de profundidad. Se determinó el espesor de los horizontes y algunas características físicas como textura, estructura y color entre otras, y la clasificación taxonómica del suelo.
- **Conductividad hidráulica saturada.** Se utilizó el método del pozo barrenado inverso encontrando el nivel freático por debajo de los dos (2) metros de profundidad del suelo, y se calculó aplicando la solución aproximada de Porche.
- **Infiltración.** Se utilizó el método de los anillos infiltrómetros y se determinaron las funciones de infiltración por el modelo de regresión de Kostikov.
- **Procedimiento de muestreo.** Diariamente, a las 7 a.m. se midieron los pluviómetros instalados en cada una de las parcelas. La medición de los pluviómetros locales se sumó a la información de la Red del IDEAM en el área de influencia. Para medir y evaluar las pérdidas diarias del suelo se recolectó después de cada precipitación una muestra de 100 ml en las canecas de escurrimiento. Las muestras se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana para su análisis mediante filtración, volumetría y gravimetría. El volumen total de escurrimiento colectado en cada parcela se determinó y consignó en los formatos de registro. Para el seguimiento a las parcelas experimentales y toma de información, se brindó capacitación práctica a los operarios responsables del área sobre el proceso de control en parcela, recolección y manipulación de muestras, consignación de información y mantenimiento de las parcelas experimentales.
- **Medición de la cantidad de sedimentos.** Se tomaron muestras de volumen conocido de 100 ml y se realizó el montaje sobre un embudo de cristal con papel filtro plegado dispuesto sobre un baker, se depositó la muestra en el embudo y se

procedió al filtrado. Una vez la totalidad del agua de la muestra se filtró, se retiró el papel filtro del montaje y se secó a una temperatura de 105°C por 24 horas. Al finalizar el secado, cada unidad de papel filtro se pesó nuevamente para encontrar la diferencia de peso y así determinar la cantidad de suelo por muestra. Posterior al filtrado, se tabularon los valores de sedimentos colectados por parcela. Adicionalmente, se registró el volumen colectado y a partir de esta información se estimó la cantidad total de sedimentos por parcela, según los tratamientos dispuestos en las distintas localidades; finalmente, el valor obtenido se llevó a una hectárea. Los sedimentos colectados al final de la parcela se multiplicaron por cinco para obtener el valor por evento, ya que en cada recipiente se captó la quinta parte del volumen total.

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo - USLE.

Índice de Erosividad (R).

En cada una de parcelas se determinó el coeficiente de erosividad de las lluvias (R) en el periodo. El índice del factor de erosividad de los eventos pluviales se definió como el producto de la energía cinética (Ec) total del evento por su intensidad máxima en 30 minutos. Este factor se determinó por la cantidad total de precipitación diaria y por la forma en que se originaron, siendo más erosivas cuanto mayor era la cantidad e intensidad de la lluvia. Su determinación se hizo a partir de las estaciones automáticas del IDEAM, con influencia en las áreas.

$$Ec = (12,142) + (8,877) * (\text{Log}(I))$$

Dónde Ec: t.m.ha⁻¹mm⁻¹ lluvia, I: Intensidad del evento o en un tiempo determinado, 12,142 y 8,877 son constantes para el sistema métrico. Calculados estos valores se procedió a determinar la energía cinética total de evento:

$$Ec_{\text{Totaldeevento}} = EcI * P$$

El valor del Índice de Erosividad (EI₃₀) del evento pluvial se obtuvo de la fórmula desarrollada por (Wischmeier y

Smith, 1978). Este parámetro es igual al producto de la energía de las gotas de lluvia y su intensidad máxima en 30 minutos.

$$R = Ec * I_{30}$$

Ec: Energía cinética total para un evento de precipitación, I₃₀: Intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos, R: Índice de Erosividad. El valor de Ec se calculó con base en las diferentes intensidades en los intervalos de tiempo (Fournier, 2011).

Índice de Erodabilidad (K). Representó la susceptibilidad del suelo y reconoció las propiedades físicas relacionadas a las tasas de erosión, además, cuantificó el carácter cohesivo de un tipo de suelo y su resistencia al desprendimiento y transporte por impacto de las gotas y al flujo superficial de agua (Wischmeier y Smith, 1978, Lobo and Gabriels, 2005). Para determinar el factor K se hizo uso de las propiedades físicas del suelo y las características de la parcela. La clasificación de los suelos se obtuvo con el Índice de Erodabilidad (K) determinado por Paulet, que se presentan en la Tabla 2:

$$100 * K = 2.1 * 10^{-4} * (12-a)M^{1.14} + 3.25(b-2) + 2.5 * (c-3)$$

Dónde K: Factor de Erodabilidad, M: Distribución del tamaño de las partículas, a: Materia orgánica en %, b: Estructura, c: Permeabilidad. El parámetro M se calculó así:

$$M = (\% \text{lim o} + \text{arenasmuyfinas}) * (100 - \% \text{arcillas})$$

Para el análisis textural se utilizó el método de Bouyoucos (Dewis y Freitas, 1970), y para la determinación de materia orgánica se utilizó el método de Walkley and Black.

Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS). A medida que la escorrentía se acumuló en la pendiente, su capacidad de desprender y transportar se incrementó. La longitud de la pendiente y su inclinación se midió en la

Tabla 2:

Clasificación de suelos según Índice de Erodabilidad (K) método de Paulet

Sitio	Clasificación CIDIAT	Rango Obtenido	Rango Establecido
Marengo	Medianamente erodable	0,150	0,05 < K ≤ 0,10
Los Pinos	Medianamente erodable	0,163	
Jericó (cultivo mora)	Muy poco erodable	0,031	K ≤ 0,05
Jericó (cultivo café)	Muy poco erodable	0,015	

Fuente: Los Autores.

parcela, el valor de los factores LS se obtuvo aplicando la ecuación de Wischmeier y Smith (1978):

$$LS = (La/100)*0,76+0,535+0,0076S^2$$

Dónde LS: Factor longitud y gradiente de pendiente (adimensional), La: Longitud de la pendiente en pies, S: Pendiente en %. Este parámetro se determinó siguiendo el procedimiento descrito por (Lobo y Gabriels, 2005).

Factor C del cultivo. En cada una de las parcelas se tuvo en cuenta el tratamiento, por lo tanto, para aquellas en asociación con otras especies y/o con tratamientos de quema, se ponderaron de acuerdo al área que ocupó cada tratamiento y a los factores teóricos de la parcela. En los cálculos del factor C se utilizaron los índices propuestos por (Roose, 1977; García, 2004).

Factor de prácticas de conservación (P). Representa las prácticas de conservación usadas en el proceso de manejo para la estabilidad del suelo; las prácticas incluidas en las parcelas de escorrentía se establecieron así:

- Para las parcelas en sistemas productivos alternativos, se adoptó un factor de prácticas.
- Para cultivos con pendientes entre 12 y 14°, igual a 0,9 y,
- Para aquellas que no presentan práctica mecánica o sin prácticas de control de erosión, el factor P es igual a 1,0 (Lobo y Gabriels, 2005).

RESULTADOS

Análisis físico de suelos. El suelo en Jericó constituido por cenizas volcánicas (Typic Dystrandeps) es de textura franca con baja densidad aparente y alta retención de humedad. El suelo en Pinos (Typic Fulvudands) con epipedón de textura franca, baja densidad aparente y alta retención de humedad sobre endopedón de textura fina. El suelo en Marengo (Typic Hapludalfs) de textura fina, incrementó la densidad aparente con la profundidad, presentando baja humedad residual. En general, los suelos andisoles son propicios para la explotación agrícola bajo aplicación de correctivos y también altamente susceptibles a la erosión, más aún si se localizan en pendiente superior al 3%. Cuando los suelos presentaron horizontes inferiores con influencia de arcillas, se creó una barrera impermeable que mantuvo la alta humedad en el horizonte superior, acumulando el agua y provocando la escorrentía superficial (Tabla 3).

Conductividad hidráulica. El movimiento interno del agua en Jericó es muy rápido, explicado por la constitución textural y estructural del suelo, resultando los valores más altos; en Pinos es moderada asociada a su textura franco arcillosa, mientras que en Marengo es lenta, en la Tabla 3 se presenta el análisis físico de los suelos.

Capacidad de infiltración. En Jericó la infiltración se favoreció por la porosidad del suelo, así como por pequeñas grietas dejadas por las lombrices, las raíces de plantas y el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial. La tasa de infiltración presentó índices muy altos, lo cual se correlacionó con los resultados de conductividad hidráulica, a excepción de Marengo donde esta propiedad fue moderada (Tabla 3).

Tabla 3:
Análisis físico de los suelos

Sitio	Horizonte	Textura	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Humedad natural (%)	Conductividad hidráulica (m día ⁻¹)	Infiltración (cm h ⁻¹)
JERICÓ Cultivo de mora	A	F	0,84	1,61	69,15		
	A/B	F	0,90	2,20	35,00		
	B	F	0,77	2,31	46,70	7,08 MR	31,64 MR
JERICÓ Cultivo de café	A	F	0,65	1,10	43,18		
	A/B	F	0,85	2,24	25,64		
	B	FArL	0,68	2,21	49,25		
PINOS Labranza convencional	A	F	0,90	2,30	40,31		
	B	ArL	1,37	2,47	20,0	0,75 M	31,78 MR
MARENGO Ganadería extensiva	A	FAr	1,42	2,40	5,47		
	C	Ar	1,53	2,45	7,00	0,31 L	6,10 M

MR: muy rápida, M: moderada, L: lenta

Fuente: Autores

Pérdida de suelo aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo – USLE

Análisis de precipitación. En Marengo, el 95% de los eventos se clasificaron suaves y no se presentó

evento de categoría severa, mientras en Pinos y Jericó se registraron algunos eventos fuertes y severos (13 y 10%, respectivamente). En la Figura 2 se presenta la clasificación de lluvias para las tres localidades.

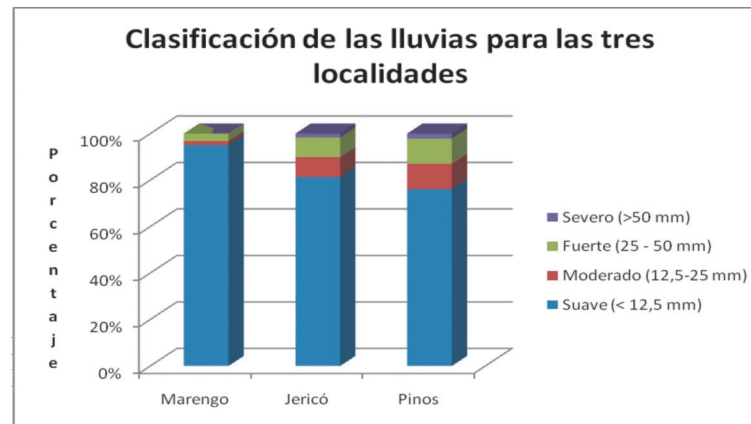


Figura 2. Clasificación de eventos de lluvia.

Fuente: Autores

El cálculo del Índice de erosividad arrojó una gran diferencia entre los eventos de lluvia. Al comparar el índice obtenido contra las variables Volumen de lluvia por evento e Intensidad máxima en 30 minutos, se encontró que el Índice de erosividad dependió más de la intensidad de la lluvia, que de la cuantía de la misma

($R^2 = 0,828$ para Intensidad y R^2 de 0,432 para Volumen de lluvia, el mayor índice R alcanzó un valor de 23,9. Estos índices coincidieron con alta intensidad de lluvia (I_{30}), de 37,6 mm.h⁻¹. En la Figura 3 se presenta la relación de Erosividad vs la Intensidad y la Precipitación.

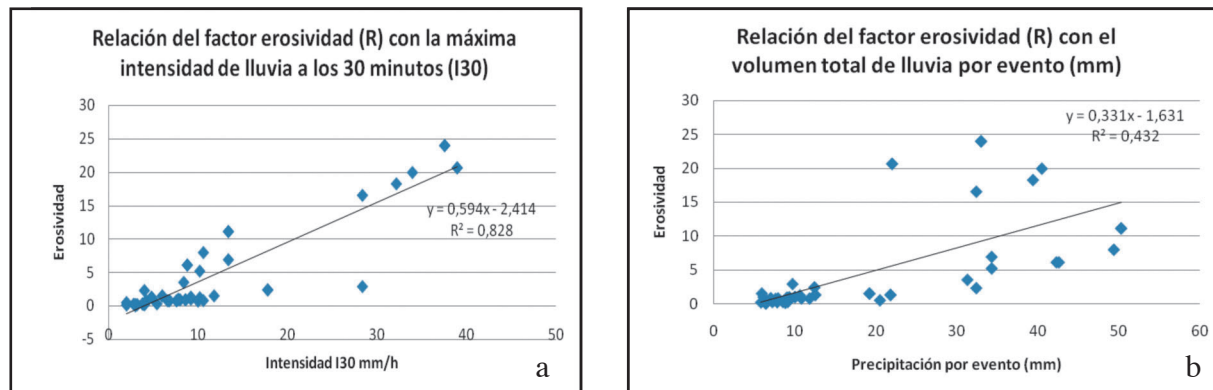


Figura 3. a) Erosividad vs Intensidad 30 minutos, b) Erosividad vs Precipitación

Fuente: Autores

Índice de Erodabilidad (K). La mayor erodabilidad se presentó en Pinos (0,163 t ha⁻¹), coincidiendo con los mayores niveles de limos y arenas finas (que contribuyeron a una mayor escorrentía y en consecuencia mayor erosión superficial), por el contrario, los menores índices de erodabilidad correspondieron a Jericó con menor contenido de limos y arenas finas, así como una rápida infiltración, estructura media y mayores niveles de

materia orgánica, siendo menos susceptibles a la erosión a pesar de las pendientes. Los parámetros de estructura y permeabilidad del suelo se clasificaron, de acuerdo con las características del suelo, tamaño y tipo de estructura. En la Tabla 4 se presenta el factor de Erodabilidad K para las diferentes localidades.

Tabla 4:
Factor de Erodabilidad K para las diferentes localidades

Parámetros	Marengo	Los Pinos	Sitio	
			Cultivo mora	Cultivo café
% Arena	69,98	75,98	74,8	76,98
% Limo	9,02	11,20	7,02	5,02
% Arcilla	21,0	13,0	18,0	18,0
% Arena fina	12,3	27,10	8,81	10,81
a % Materia orgánica	2,05	4,54	5,42	11,0
b (Estructura)*	2	2	3	3
c (Permeabilidad)**	5,0	3,0	1,0	2,0
M (Fracción limos y arenas finas)	1684,28	3332,10	1298,06	1298,06
K (t/ha)	0,150	0,163	0,031	0,015

* Estructura según USDA. 2: fina y 3: media

** Permeabilidad según USDA. 1: rápida; 2: moderada a rápida; 3: moderada; 5: lenta

Fuente: Autores.

Factor Longitud y Gradiente de la Pendiente (LS).

Las mayores pendientes se localizaron en Jericó (36%), la longitud varió dependiendo del tamaño de la parcela entre 6 y 8 m. El factor LS es la combinación de estos dos parámetros y los resultados demostraron mayores valores, y por ende, mayor susceptibilidad por pendientes

para Jericó con valores de 10,53 y 10,58, el menor valor se obtuvo en Marengo con pendiente de 24% y un factor LS igual a 5,0; esto hace que las velocidades del flujo en esta localidad sean menores (Hart, 1984; Lobo y Gabriels, 2005). En la Tabla 5 se presenta la determinación del factor LS.

Tabla 5:
Determinación factor LS

Sitio	Tratamiento	Longitud pendiente (m)	Grado de pendiente (%)	Factor LS
Marengo	Ganadería	6,0	24,0	5,06
Los Pinos	Transitorio	8,0	31,0	8,04
Jericó	Mora	6,0	36,0	10,53
	Café	8,0	36,0	10,58

Fuente: Autores.

Factor C del cultivo. Al calcular el valor ponderado de las parcelas se encontró que el índice de cobertura que demostró mayor susceptibilidad a erosión fueron los cultivos semestrales convencionales (Índice = 0,39), y por el contrario, las coberturas más protectoras del suelo fueron las prácticas de café bajo sombra y mora con barreras vivas.

Estimación de pérdida de suelo. Se determinó la pérdida de suelo por erosión en las parcelas experimentales en cada uno de los tratamientos de cobertura aplicando la ecuación USLE y medida en campo, que se presenta en la Tabla 6. De acuerdo con los resultados de la Ecuación Universal de Suelos - USLE, las mayores pérdidas ocurrieron en Pinos, especialmente en manejo de cultivos semestrales con labranza convencional (2,54 t.ha⁻¹ año⁻¹); si se compara estos resultados con los demás

cultivos tradicionales, se infiere que estos manejos no son sostenibles. La menor pérdida (0,14 t.ha⁻¹.año⁻¹) se presentó en cultivo de café con manejo alternativo bajo sombra, seguido del tratamiento manejo de mora con barreras vivas (0,32 t.ha⁻¹.año⁻¹), se observó que los cultivos con manejos alternativos tienen menor grado de erosión, incluyendo los de ganadería. No se presentó correlación significativa entre las pérdidas de suelo medidas en las distintas parcelas y las inferidas mediante la ecuación USLE. En Jericó y en Marengo las pérdidas de suelo - USLE, resultaron inferiores a las medidas, excepto en la parcela desnuda de Jericó, en cambio en Pinos ocurrió lo contrario; las pérdidas de suelo - USLE resultaron superiores a las medidas en las parcelas experimentales.

Pérdidas de suelo en Jericó. Se consideraron los cultivos de mora y café, incluyendo la parcela desnuda como testigo. En general, el tratamiento de mora con barreras vivas se midieron los niveles más bajos de pérdidas de suelo ($0,51 \text{ t.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$), cantidad que representó aproximadamente la mitad de la pérdida de suelo medida en el tratamiento con mora convencional ($0,99 \text{ t.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$), explicado esto en el efecto que tienen dichas barreras en el arrastre de partículas del suelo. Posterior a labores de limpieza y con lluvias superiores a 20 mm, ocurrieron

las mayores pérdidas de suelo, especialmente en mora convencional; por el contrario, la parcela de mora con barreras vivas permanecieron relativamente estables, recibiendo menor impacto de la lluvia y afectación por actividades de laboreo. Las actividades de limpieza del terreno seguidas de ocurrencia de lluvia, promovieron las mayores pérdidas de suelo, demostrado en los arreglos productivos en los cuales se produjo laboreo y remoción de la capa vegetal protectora.

Tabla 6:
Pérdida de suelo por los métodos USLE y MEDIDA

Sitio	Tratamiento	Erosión USLE $\text{t.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$	Erosión medida $\text{t.ha}^{-1}\text{año}^{-1}$
Jericó	Parcela desnuda	2,08	1,64
	Mora convencional	0,42	0,99
	Mora barreras vivas (alternativo)	0,32	0,51
	Café convencional	0,27	1,14
	Café bajo sombra (alternativo)	0,14	0,73
Pinos	Parcela desnuda	4,13	1,50
	Cultivos semestrales labranza cero (alternativo)	1,59	0,37
	Cultivos semestrales labranza convencional	2,54	0,53
Marengo	Parcela desnuda	0,88	1,20
	Ganadería extensiva	0,13	0,33
	Ganadería semiestabulada (alternativo)	0,11	0,31

Fuente: Autores.

El efecto erosivo de la lluvia pasó a un segundo nivel cuando se trató de evaluar pérdidas por escorrentía en este tipo de condiciones, ya que las barreras ofrecieron la protección necesaria para mitigar el efecto en los arreglos productivos donde se implementó su utilización. Por otro lado, las labores como abonado, fumigación y recolección no generan un mayor impacto sobre la pérdida de suelo, por lo tanto, no se analizan su influencia en el objeto de la presente investigación.

Durante el corto periodo de medición (4 meses), el valor más alto de erosión se registró en el tratamiento de mora convencional ($20,98 \text{ kg.ha}^{-1}$) con precipitación de 24 mm, esto ocurrió precedido por labores de limpieza, lo que mostró la importancia de la protección que ofrecieron las barreras vivas en zonas de ladera.

Las pérdidas de suelo en las parcelas con café siguieron tendencias similares a las de mora. La mayor pérdida

medida se registró en suelo desnudo (411 kg.ha^{-1}), con fuertes variaciones que dependen de la época de laboreo y los eventos pluviales. Al comparar los dos tratamientos con café, se observó el valor más elevado de pérdidas de suelo con las prácticas convencionales ($31,1 \text{ kg.ha}^{-1}$ para precipitación de 18 mm), coincidiendo este efecto con las actividades de limpieza que dejan expuesto el suelo al impacto directo de las gotas de lluvia. Al comparar los tratamientos con café se comprobó de manera general, que la menor pérdida de suelo se dio en el cultivo de café bajo sombra.

Jaramillo (2003), encontró que el espesor de la cobertura en el suelo es mayor en cafetales bajo sombra que en cafetales expuestos al sol, debido al efecto protector que ofrece la cobertura que se forma con la acumulación de múltiples estratos de vegetación aportados por la especies coexistentes con el cultivo y se evidenció que la interceptación directa de las gotas de lluvia o “acción de

paraguas” no tiene efecto alguno en la mitigación de la pérdida de suelo en los cafetales.

Pérdidas de suelo en Pinos. En Pinos se midieron pérdidas de suelo relativamente menores comparadas con Jericó, esto, posiblemente por el factor pendiente que para Pinos ($LS = 8,04$) (Wischmeier y Smith, 1978) es inferior a Jericó ($LS = 10,58$); así mismo, en Pinos presentó antecedente de más de 4 años con cobertura en barbecho, considerando el beneficio del sistema radicular sobre el suelo, factor que no fue medido.

La mayor pérdida de suelo ocurrió con cultivos semestrales de labranza convencional con $12,95 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para 25 mm de precipitación. Los valores críticos se observaron en el establecimiento del cultivo por labores de quema y remoción de la cobertura vegetal, encontrando valores similares a los de suelo desnudo ($16,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Por el contrario, para este mismo evento pluvial de 25 mm, la pérdida de suelo en labranza cero fue de $1,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, favorecido por la cobertura y la presencia de barbecho sobre el suelo. En el caso de cultivos semestrales, también hay gran influencia de la cobertura, puesto que posterior a las labores de limpieza, se incrementó la pérdida de suelo (labranza convencional = $8,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y para labranza cero = $5,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). De igual manera, al sumar los eventos pluviales en las distintas parcelas, las pérdidas fueron mayores en el periodo de siembra y se disminuyó con el

crecimiento del cultivo, siendo significativamente mayor en las parcelas con labranza.

El análisis marginal de costos e ingresos entre los cultivos con prácticas tradicionales, mostró que por unidad de área los mayores costos de las prácticas alternativas están representados por el café bajo sombra, valor atribuido principalmente a sistemas productivos con mayor nivel de tecnificación y menor producción. Por el contrario, el menor costo se dio en ganadería semiestabulada con un valor de $\$116,516/\text{ha}$, esto debido a la baja inversión por unidad de área. Los valores de $\$/\text{ton}$ se consideraron bajos, si implicó el dejar de producir una tonelada de sedimento en el mejor de los casos (transformar mora convencional a mora con barreras vivas), fue de $\$14,788$.

Lo anterior demostró un costo de oportunidad para dejar de producir sedimentos y apuntarle a la conservación sostenible del suelo en áreas estratégicas como el Corredor Biológico Parques Naturales Nacionales Puracé y Cueva de los Guácharos, lo que también incluyó otras oportunidades como el agua para consumo, así como el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos. Es muy seguro que el análisis financiero justifique las actividades de conservación, esto implicó que diferentes sectores de la sociedad, incluyendo al mismo Estado, invirtieran recursos adicionales para garantizar un bien público a largo plazo. En la Tabla 7 se presenta la pérdida de suelo en el horizonte A.

Tabla 7:

Pérdida de suelo en el horizonte A

PARÁMETROS	Café	Mora	Maíz	Ganadería
Tratamiento convencional ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)	41,5	35,3	18,8	3,42
Tratamiento alternativo ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)	25,4	18,3	12,9	3,21
Profundidad horizonte A (cm)	25	15	15	15
Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0,65	0,90	0,98	1,53
Peso 1 ha de horizonte A (t)	1,625	1,350	1,470	2,295
Años pérdida de horizonte A convencional	39	38	78	671
Años pérdida de horizonte A alternativo	64	74	114	715

Fuente: Autores.

Asumiendo una tasa de erosión constante, se calculó el tiempo de pérdida del horizonte A, encontrando información preocupante para los sistemas productivos como café y mora convencional, donde el horizonte A desaparecería en 39 años, mientras que en Marengo es mucho más amplio. En todos los casos, los tratamientos alternativos prácticamente duplicaron el

tiempo de conservación con respecto a los tratamientos convencionales.

CONCLUSIONES

- Los Índices de erodabilidad en los suelos presentó mayor susceptibilidad a la erosión en Pinos ($0,163 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$),

esto indica que el alto contenido de limos y arenas finas contribuyen a mayor escorrentía y en consecuencia a mayor erosión superficial, por el contrario, el menor Índice de erodabilidad en Jericó está asociado a los bajos contenidos en las fracciones mencionadas, la rápida infiltración y estructura más gruesa del suelo con mayor contenido de materia orgánica, existiendo menor susceptibilidad a la erosión.

- Las mayores pérdidas de suelo medidas ocurrieron en el cultivo de café convencional ($1,14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) comparado con café bajo sombra ($0,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), seguido de mora convencional ($0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), la diferencia se atribuyó principalmente al manejo de la cobertura. Adicionalmente, la ejecución de prácticas de limpieza y la pendiente del suelo son factores determinantes en la erosión, siendo Jericó donde sucedieron las mayores pérdidas de suelo relacionadas con la mayor pendiente.
- La cobertura densa es la práctica más eficiente de conservación de suelos y aguas, demostrado en los tratamientos de mora convencional ($0,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) frente al cultivo de mora con barreras vivas ($0,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Las barreras vivas ofrecen un efecto protector significativo en las zonas de ladera, porque mitiga los procesos de desprendimiento y arrastre de partículas de suelo a través de las pendientes.
- La implementación de prácticas de manejo alternativo generaron un impacto positivo en la prevención de la erosión superficial, un visible ejemplo de esto son los cultivos con prácticas de labranza cero que muestran menor pérdida de suelo ($0,37 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) comparado con cultivo de manejo convencional ($0,53 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), que incluyen quema y remoción de la cobertura con exposición de la capa superficial a la erosión.
- Las mayores diferencias de pérdidas de suelo entre labranza convencional y labranza cero se presentaron al inicio del cultivo, y los valores de erosión disminuyeron con el crecimiento de los cultivos en ambos tratamientos, esta situación se agrava cuando la siembra y fases iniciales del cultivo coinciden con el periodo de lluvias.
- En la parcela con ganadería extensiva, la erosión fue similar a la de ganadería semiestabulada, $0,33$ y $0,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ respectivamente, demostrando que el efecto de la intensidad de la lluvia combinado con las prácticas de manejo en los cultivos asociados al grado de cobertura, tienen influencia importante en la pérdida de suelo superficial por escorrentía en las zonas de ladera.

AGRADECIMIENTOS

A la Office National des Forets ONF por el financiamiento de la investigación.

REFERENCIAS

- Almanza E. F. y Arguello, J. O. (2006). *Comportamiento de la ecuación universal de pérdidas de suelo en la Orinoquía colombiana*. Plegable divulgativo No. 42. CORPOICA. Villavicencio, Meta. Colombia.
- Cerquera, Y., Will, J. (1991). *Caracterización física de las lluvias y erosión por impacto en los Centros Experimentales San Rafael y Tarpeya*.
- CORPOICA. (2006). *Seminario en producción limpia y suelos de ladera*. Oficina de Comunicaciones. Estación Experimental La Suiza CORPOICA, Bucaramanga (13-10-2006).
- Dewis, J. y Freitas, F. (1970). (Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas). *Boletín sobre suelos* N° 10. Roma: FAO.
- Fournier, A. J. 2011. Soil Erosion: Causes, Processes, and Effects *Environmental Science, Engineering and Technology*. Nova Science Publishers, Inc (US). Editorial: Nova Science Publishers, Inc (US).
- García, P. F. (2004). Cultivo continuo en siembra directa o rotaciones de cultivos y pasturas en suelos pesados del Uruguay. *Rev. Científica Agropecuaria* 8(1),23-29. Fac. de C. Agrop.-UNER, Argentina. Conferencia invitada al XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y 2o. Congreso Nacional sobre Suelos Vertisólicos, Paraná-Entre Ríos.
- Gobernación del Huila. Secretaría de Gobierno. (2005). *POT de los municipios del sur del Huila*. Neiva, Huila.
- Gema. (2006). *Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental. Caracterización de la biodiversidad proceso Corredor Biológico entre Los PNN Puracé y Cueva de los Guácharos (Huila)*, Colombia. Informe Técnico. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos - Alexander von Humboldt. Villa de Leyva.
- Hart, G.E. (1984). Erosion from simulated rainfall on mountain range- land in Utah. *J. Soil and Water Conserv.* 39,330-334.

- Jaramillo, R. A. (2003). La lluvia y el transporte de nutrimentos dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé*, 54(2),134-144.
- Lobo, D. & Gabriels, D. (2005). Assessing the rain erosivity and rain distribution in different agroclimatological zones in Venezuela. *Sociedade y Natureza, Special ISSUE*: 16-29.
- Ramírez, O. A. F. (2006). *Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del departamento de Caldas*. (Trabajo de grado). Ingeniero Forestal. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad del Tolima. Ibagué.
- Rivera, H., y Gomez, A. (1993). Erosión potencial de los suelos de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda) y su aplicabilidad en la orientación del uso, manejo y conservación. *Cenicafé*, 44(4),141-154.
- Roose, E.J. (1977). Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socioeconomiques de l'Afrique de l'Ouest, *Agron. Trop.* 32(2),132-140.
- Suárez, D. J. (1998). *Deslizamientos y estabilización de laderas en zonas tropicales*. Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Bucaramanga.
- Uribe, H. A. (1971). Erosión y Conservación de suelos en café y otros cultivos. *Cenicafé*, 22(1), 1 - 17. 8 refs Esp.
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning United States Department of Agriculture. *Agricultural Handbook*, No 282.