

PÉRDIDAS POTENCIALES DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA REGIÓN CAFETERA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA

Luz Adriana Lince Salazar*, Wadi Andrey Castaño Castaño*

LINCE S., L.A.; CASTAÑO C., W.A. Pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica en la región cafetera del departamento de Risaralda. *Revista Cenicafé* 70(2):55-66. 2019

La erosión del suelo es la principal causa de degradación de la tierra y conduce a la pérdida de 75 mil millones de toneladas de suelo fértil cada año. Entre los tipos de erosión, la hídrica es la que más afecta la región húmeda tropical, por ser un proceso natural causado por la erosividad de la lluvia, que genera degradación física química y biológica del suelo. Este tipo de erosión se presenta de forma generalizada en la región cafetera colombiana, razón por la cual la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia realizó una investigación en el departamento de Risaralda, región central colombiana, para determinar las pérdidas potenciales de suelo por dicho fenómeno. Para ello, se tomaron muestras de suelo disturbadas, de las unidades cartográficas Chinchiná, Catarina, Doscientos, Balboa y Malabar, se sometieron en el laboratorio a lluvia simulada de 80 mm h⁻¹ en una pendiente de 45° y se cuantificó el suelo desprendido por escorrentía y salpique. Además, se realizaron tres simulaciones teóricas de pérdida de suelo con erosividades de 6.400 a 12.000 MJ mm ha⁻¹. Los valores promedio de pérdida de suelo ante la simulación de eventos estuvieron entre 4,1 y 10,1 t ha⁻¹ y las simulaciones teóricas para los tres escenarios erosivos, indicaron que las pérdidas teóricas de suelo, pueden estar entre 1,8 y 6,3 mm año⁻¹. La investigación permitió identificar que la región cafetera de Risaralda está expuesta a niveles potenciales de pérdida de suelo por erosión hídrica que van de bajos a severos, lo cual varía según el tipo de suelo y la intensidad de la lluvia.

Palabras clave: Erosividad, erosión por salpique, erosión por escorrentía, lluvia simulada.

POTENTIAL SOIL LOSS BY WATER EROSION IN THE COFFEE ZONE OF RISARALDA DEPARTMENT

Soil erosion is the main cause of land degradation and generates a loss of 75 billion tons of fertile soil each year. Among the types of erosion, water erosion affects humid tropical regions the most due to its natural process caused by rainfall erosivity that creates physical, chemical and biological soil degradation. This type of erosion occurs in the coffee growing region of Colombia. That is why the National Federation of Colombian Coffee Growers conducted a study in the Department of Risaralda, central region of Colombia, to determine potential soil loss in this region due to water erosion. Soil samples from the Chinchiná, Catarina, Doscientos, Balboa and Malabar cartographic units were taken and subjected to simulated rain of 80 MJ mm h⁻¹ in a slope of 45° in a laboratory; the detached soil due to runoff and splash was measured. Moreover, three theoretical simulations of soil loss under erosivities of 6,400 to 12,000 MJ mm ha⁻¹ were carried out. The average values of soil loss under simulated rainfall was between 4.10 and 10.09 kg.ha⁻¹ while theoretical simulations for the three erosive scenarios showed that theoretical soil losses may be between 1.8 and 6.3 mm year⁻¹. The results show that the coffee region of Risaralda is exposed to potential soil loss that ranges from low to severe and that varies according to the soil type and rainfall intensity.

Keywords: Erosivity, splash erosion, runoff erosion, simulated rainfall.

*Investigador Científico I e Investigador Asociado (hasta 2018), respectivamente. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La erosión del suelo es la causa principal de degradación de la tierra y conduce a la pérdida de 75 mil millones de toneladas de suelo fértil cada año, con un valor económico de 400 mil millones de dólares al año (FAO, 2015). En Colombia el 40% de la superficie presenta erosión, de la cual el 20% es ligera, 17% moderada, 3% severa y 0,2% muy severa (Otero *et al.*, 2015), y en su mayoría está relacionada con la erosión hídrica, especialmente con procesos laminares.

La erosión hídrica es un proceso natural causado por la lluvia, que genera en el suelo la movilización, transporte y desprendimiento tanto de minerales como de partículas orgánicas, así como de productos químicos y biota (Fernández-Raga *et al.* 2017), lo que conlleva a disminuir la calidad del suelo, pues en la actualidad la media mundial del rendimiento de los cultivos se reduce en 0,3% por esta causa, y se estima que para el 2050 puede incrementarse al 10,0% (FAO y ITPS, 2015).

Este proceso de deterioro del suelo está relacionado con varios factores, entre ellos, la erosividad, que involucra la intensidad de la lluvia, la precipitación total y la velocidad de las gotas de lluvia (Zhang *et al.*, 2018; Wilken *et al.*, 2018); la erodabilidad del suelo, relacionado con la infiltración, capacidad de almacenamiento de agua y textura, entre otras propiedades edáficas (Choo *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019); la inclinación de la pendiente (Mahmoodabadi y Sajjadi, 2016) y la cobertura vegetal (Dai *et al.*, 2018). La interacción de dichos factores y su relación con la pérdida de suelo se ha evaluado desde inicios del siglo XX (Cook, 1937; Wischmeier y Smith, 1958) tanto en condiciones naturales como simuladas. Para las evaluaciones simuladas, en el mundo se utiliza el simulador de lluvia, con el que se han logrado resultados confiables (Mhaske *et al.*, 2019) y para su uso es necesario conocer las condiciones naturales de la zona que se

quiere simular (Dunkerley, 2008), ya que permite manipular los parámetros relacionados con la lluvia, inclinación de la pendiente y algunas propiedades del suelo como humedad y tamaño de los agregados.

La forma más común de presentar la información relacionada con la erosión es por medio de mapas, ya sea de condiciones pasadas, actuales o futuras, en términos de pérdida de horizonte superficial en unidad de profundidad (mm) o pérdida de suelo en unidad de masa por área ($t\ ha^{-1}$ o $Mg\ ha^{-1}$), en un tiempo determinado (año). Dichas condiciones se mapean como unidad coropletica o mediante alguna técnica de interpolación, bien sea determinística o geoestadística. Para la zonificación en Colombia, el Ideam presentó el protocolo para evaluación de la erosión (Otero *et al.*, 2015); sin embargo, la presentación de la información es poco usual, ya que está basada en el porcentaje de pérdida del horizonte "A" y no se cuantifica la cantidad de suelo erosionado, e imposibilita la evaluación de aquellos suelos que carecen de este horizonte.

La situación mundial de pérdida de suelo por erosión hídrica no es ajena a la región cafetera colombiana, la cual según Hincapié y Salazar (2012) genera pérdidas de hasta 60% y 54% en la producción de café, cuando es severa y moderada, respectivamente, en comparación con la producción dada cuando la erosión del suelo es leve. Por dichas razones, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) tiene identificadas las zonas de riesgo por este fenómeno en los departamentos de Caldas (Ramírez e Hincapié, 2009) y Quindío (Castro *et al.*, 2017), y utiliza dicha información como herramienta para la gestión del riesgo. También sería útil conocer las zonas de riesgo por erosión hídrica para la región cafetera del departamento de Risaralda, donde los suelos constantemente se ven expuestos a lluvias

con poder erosivo de moderado a muy alto (6.417 a 11.762 MJ mm ha⁻¹, respectivamente). Determinar las pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica en la región cafetera de Risaralda permite identificar los sitios más propensos a pérdidas, en los cuales es necesario enfocar las prácticas para conservar dicho recurso, con lo cual se mitigaría un fenómeno que amenaza la rentabilidad de los cultivos. Dadas las razones anteriores, se realizó una investigación para determinar la erosión hídrica potencial en la región cafetera de Risaralda, en sus cinco unidades cartográficas de suelo más representativas, mediante lluvia simulada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio correspondió a la región cafetera del departamento de Risaralda (42% del área total del departamento), ubicado en la

zona central de Colombia (05° 32' – 04° 39' N y 75° 23' – 76° 18' W), con una extensión de 4.140 km² (Figura 1), representada por dos unidades geomorfológicas regionales, correspondientes a vertientes erosionales con pendientes pronunciadas y una amplia terraza aluvial; edafológicamente presenta suelos contrastantes, clasificados en más de 12 unidades cartográficas (FNC 1988), de las cuales las unidades Chinchiná, Doscientos, Catarina, Malabar y Balboa, representan el 81% del área, siendo la de mayor área Chinchiná y la de menor Balboa. La precipitación media anual va desde 944 mm hasta 4.173 mm en un régimen bimodal, con máximas precipitaciones en los meses de abril y octubre, con índices de agresividad climática por lluvia entre 6.417 y 11.762 MJ mm ha⁻¹ anuales, correspondientes a erosividad moderada a muy alta (Lince *et al* 2016).

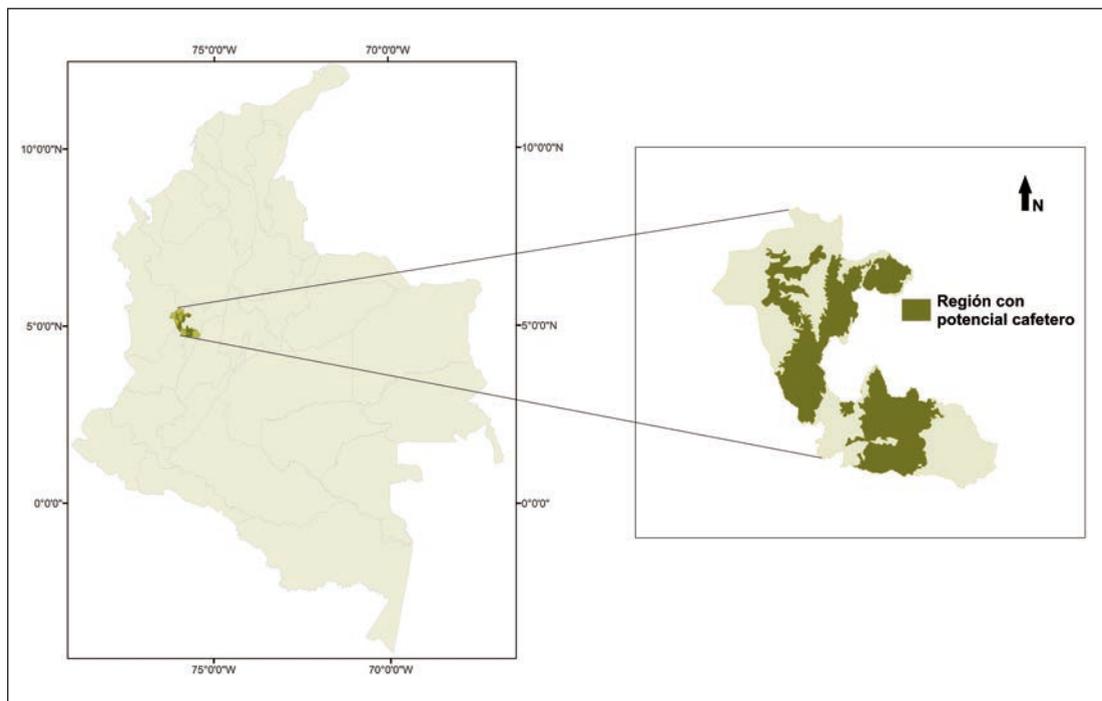


Figura 1. Localización geográfica de la zona cafetera del departamento de Risaralda, Colombia.

En la investigación se emplearon las bases de datos cartográficas de la región con potencial cafetero del departamento de Risaralda (mapa de ecotopos cafeteros) y de las unidades de suelo de la FNC (1988), softwares ArcGIS (V.10.3.1), Stathgraphics (V. 5.2) y Sigmaplot (V. 10), herramientas para la toma de muestras de suelo en el campo, tamiz No.¾ (apertura de orificio de 0,112 cm), simulador de lluvia con boquillas oscilatorias Veejet 80100 e inclinación ajustable, bandejas de lámina galvanizada de 35 cm de ancho, 60 cm de largo y 5 cm de alto, acondicionadas con un anjeo como soporte y una capa de 2 cm de fragmentos de roca tamaño grava y tela tipo muselina como filtro, balanza analítica de alta precisión, estufa con circulación de aire, cápsulas metálicas y elementos de medición volumétrica (beaker, probeta, entre otros).

Se inició con la selección aleatoria de 32 puntos de muestreo, en las cinco unidades cartográficas más representativas en área. Para esto se empleó la herramienta para crear puntos aleatorios del Software ArcGis (V.10.3.1),

y se tomó como polígono de referencia la zona con potencial cafetero del departamento de Risaralda, a cada uno de los puntos se les asignó la unidad cartográfica de suelo correspondiente según la zonificación de la FNC, de tal manera que las unidades de mayor área tuvieron mayor número de puntos de muestreo (Tabla 1, Figura 2).

Una vez identificados los puntos, se seleccionaron los lotes cafeteros más cercanos a ellos y con la ayuda de un palín se tomaron muestras de suelos a una profundidad entre 0 y 5 cm, de aproximadamente 30 kg, conformadas por la mezcla de tres submuestras del mismo sitio y muestras inalteradas en cilindros de 98 cm³ para densidad aparente. Los 30 kg de suelo se empacaron en bolsas plásticas y se llevaron al laboratorio de suelos de Cenicafé Planalto (Manizales, Caldas) para secarlas a la sombra y pasarlas por tamiz No.¾ (apertura de orificio de 0,112 cm). Una vez tamizadas las muestras se separó 1,0 kg para los análisis de materia orgánica (Walkley-Black) y de textura (bouyoucos), según IGAC (2006); el

Tabla 1. Descripción de las unidades cartográficas de suelo muestreadas según FNC (1988).

| Unidad | Contenido pedológico | Material parental | Puntos de muestreo |
|------------|--|--------------------------------|--------------------|
| Chinchiná | Typic Hapludands 80%; Andic Dystudepts 10%; otros 10% | Ceniza volcánica | 18 |
| Malabar | Typic Hapludalfs 70%; Typic Hapludands 10%; Typic Argiudoll 15%; otros 5% | Ceniza volcánica | 2 |
| Doscientos | Typic Eutrudepts 75%; Paralithic Eutrudepts 15%; otros 10% | Basalto hornbléndico biotítico | 6 |
| Catarina | Paralithic Udorthents 40%; Typic Eutrudepts 35%; Andic Eutrudepts 10%; otros 15% | Esquisto talcoso biotítico | 4 |
| Balboa | Typic Eutrudepts 40%; Paralithic Eutrudepts 35%; Typic Udorthents 15%; otros 10% | Cherts | 2 |

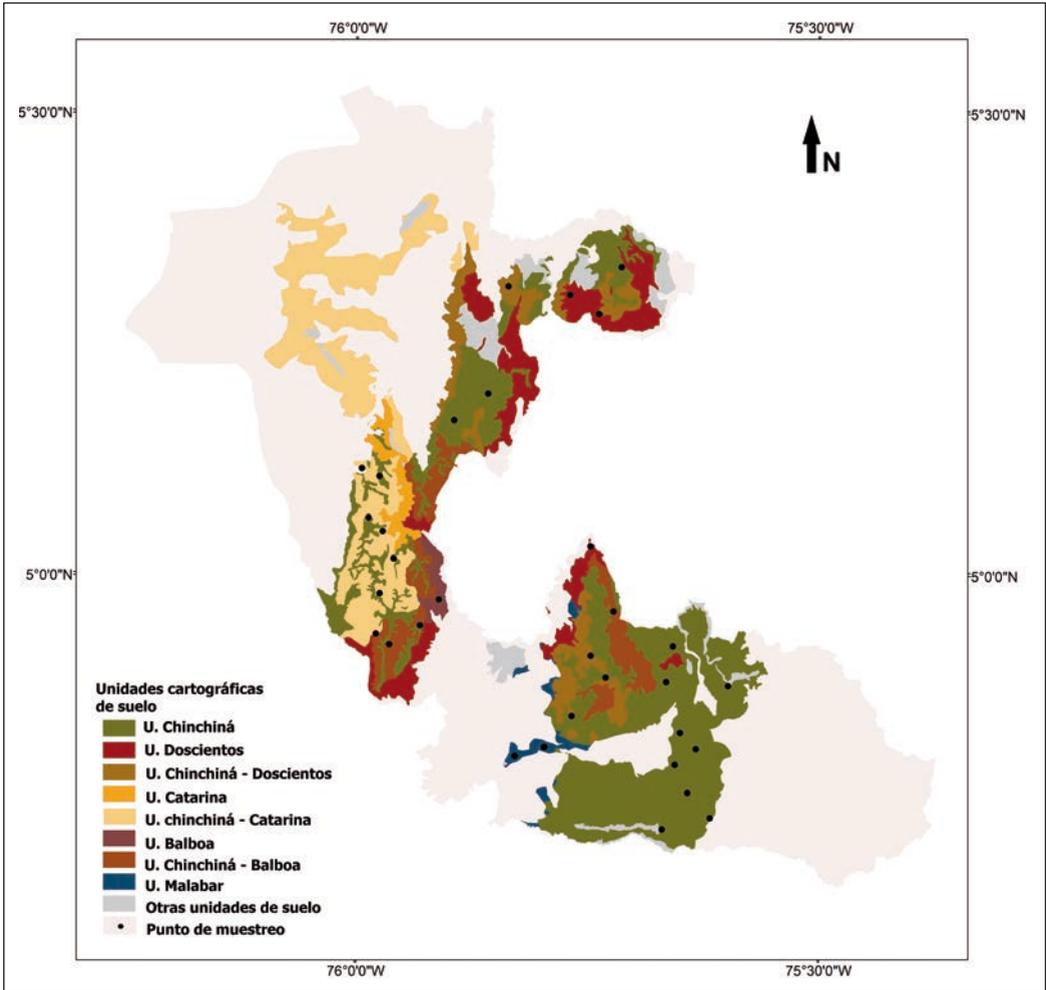


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo, mapa de unidades cartográficas de suelo, zona cafetera del departamento de Risaralda.

suelo restante se depositó en las bandejas de lámina galvanizada acondicionadas y se realizó la saturación de las muestras por capilaridad durante 24 horas, posterior a esto, los suelos se drenaron durante una hora y se ubicaron en el simulador de lluvia, para ser sometidos a condiciones extremas, con una inclinación de 45° (100%), debido a que en el estudio de suelos de la FNC (1988) para Risaralda algunos sitios con pendientes abruptas, de

>70%, y una intensidad de lluvia simulada promedio de 80 mm h⁻¹, es considerado el valor extremo de precipitación más recurrente en la región cafetera central de Colombia (Rivera, 1990). Posterior a la aplicación de la lluvia, se recolectaron las partículas de suelo erosionadas por arrastre y por salpique y se secaron por separado en cápsulas de aluminio en estufa a 105°C por 24 horas, y luego, se pesaron en balanza analítica.

Los datos obtenidos de pérdida de suelo por arrastre y por salpique se sumaron para obtener la pérdida de suelo total–erosión (kg ha^{-1}) y se obtuvieron los promedios por unidad cartográfica de suelo. Los valores tanto de promedios como sin promediar, se correlacionaron con las variables complementarias (materia orgánica, arenas y arcillas) y se establecieron las expresiones matemáticas lineales que explicaron la pérdida de suelo a partir de dichas variables. Para esto, se utilizaron los softwares Stathgraphics (V. 5.2) y Sigmaplot (V. 10).

Para determinar la erosividad simulada (R , MJ mm ha^{-1}), se empleó la Ecuación <1> propuesta por Foster *et al.* (1981).

$$R = 0,119 + 0,0873 X \text{Log}10 (Im), \text{ en MJ mm ha}^{-1} \text{ <1>}$$

Donde,

R = erosividad

Im = intensidad de la lluvia, en mm h^{-1}

Una vez conocida la erosión causada por la erosividad simulada para cada unidad cartográfica de suelo, se calcularon tres escenarios de susceptibilidad a la erosión, de 6.400, 9.200 y 12.000 MJ mm ha^{-1} , definidos según los niveles de erosividad de la zona cafetera de Risaralda (Lince *et al.*, 2016). El valor de la erosión en kilogramos, se llevó a pérdida del horizonte superficial (cm), y mediante la densidad aparente y los datos finales fueron espacializados como unidad coroplética, en escala 1:100.000, con el software ArcGis (V.10.3.1).

RESULTADOS

Los valores promedio de erosión total en la región cafetera del departamento de Risaralda ante la simulación de eventos torrenciales de 80

mm h^{-1} , con valores de erosividad entre 1.578,56 y 1.861,67 MJ mm ha^{-1} , en suelo descubierto y con una pendiente de 45° , oscilaron entre 4,10 y 10,09 t ha^{-1} (Tabla 2). Con relación a las formas de pérdida de suelo, se encontró que fueron mayores las pérdidas por arrastre que por salpique (Figura 3).

La pérdida de suelo total se correlacionó significativamente ($p > 0,05$) con el contenido de arenas y arcillas (Figura 4), y las pérdidas por salpique se correlacionaron con las arcillas. La erosión fue explicada en 15,12%, por medio de la expresión matemática que se presenta en la Ecuación <2>.

$$\text{Erosión} = 2,72714 + 0,12172 x \text{arena} \\ (\text{valor } p < 0,05 \geq 0,01) \text{ <2>}$$

En el análisis individual por unidad cartográfica de suelo no se encontró explicación matemática de la erosión por medio de las variables incluidas; sin embargo, la erosión por salpique en la Unidad Doscientos fue explicada en 66,31% por los contenidos de arcilla (Ecuación <3>).

$$\text{Erosión por salpique} = 5,93858 \\ -0,0970817 x \text{Arcilla} \text{ <3>}$$

La simulación de los tres escenarios erosivos, representativos de la región cafetera de Risaralda, mostró que las pérdidas teóricas y potenciales de suelo por erosión hídrica, pueden estar entre 16,5 y 65,0 t ha año^{-1} , que pueden llegar a representar pérdidas potenciales entre 1,8 mm y 6,3 mm de suelo anuales (Tabla 3). Con una erosividad de 6.400 MJ mm ha^{-1} , el 12% de la zona cafetera de Risaralda puede perder entre 1 y 3 mm de suelo anual y el 87% restante entre 3 y 5 mm; con una erosividad de 9.200 MJ mm ha^{-1} , el 86% del área puede perder entre 5 y 8 mm año^{-1} , el 13% del área puede perder entre 1 y 3 mm año^{-1} y el 2% entre 3 y 5 mm año^{-1} ; con una erosividad de 12.000

Tabla 2. Valores promedio y error estándar para las variables cuantificadas en las cinco unidades cartográficas de suelo de la región cafetera de Risaralda.

| Propiedad | Unidad cartográfica de suelo | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------------|------|----------------|------|------------------|------|------------------|------|---------------|------|
| | Balboa (n=2) | | Catarina (n=4) | | Chinchiná (n=18) | | Doscientos (n=6) | | Malabar (n=2) | |
| | promedio | E.E. | promedio | E.E. | promedio | E.E. | promedio | E.E. | promedio | E.E. |
| Pérdida de suelo | | | | | | | | | | |
| Arrastre, t ha ⁻¹ | 3,03 | 0,67 | 5,43 | 0,26 | 5,51 | 0,58 | 4,65 | 0,91 | 7,08 | 0,34 |
| Salpique, t ha ⁻¹ | 1,05 | 0,33 | 2,98 | 0,42 | 2,91 | 0,27 | 2,30 | 0,64 | 3,01 | 0,61 |
| Erosión total, t ha ⁻¹ | 4,08 | 1,00 | 8,22 | 0,48 | 8,42 | 0,79 | 6,95 | 1,52 | 10,09 | 0,96 |
| Lluvia aplicada | | | | | | | | | | |
| Intensidad, mm h ⁻¹ | 74,06 | - | 77,22 | - | 79,72 | - | 86,07 | - | 80,75 | - |
| Erosividad, MJ mm ha ⁻¹ | 1.578,56 | - | 1.716,07 | - | 1.834,61 | - | 2.133,22 | - | 1.861,67 | - |
| Densidad aparente, g cm ⁻³ | 0,93 | 0,14 | 0,77 | 0,04 | 0,81 | 0,04 | 1,17 | 0,06 | 1,04 | 0,08 |
| Materia orgánica, % | 11,10 | 1,70 | 14,48 | 0,94 | 12,54 | 1,00 | 8,57 | 1,16 | 7,70 | 1,10 |
| Arenas, % | 38,00 | 7,00 | 45,00 | 0,82 | 46,72 | 1,93 | 32,00 | 5,66 | 43,00 | 2,00 |
| Arcillas, % | 35,50 | 5,50 | 22,00 | 1,78 | 23,89 | 2,27 | 37,50 | 5,38 | 31,50 | 1,50 |

E.E.: error estándar

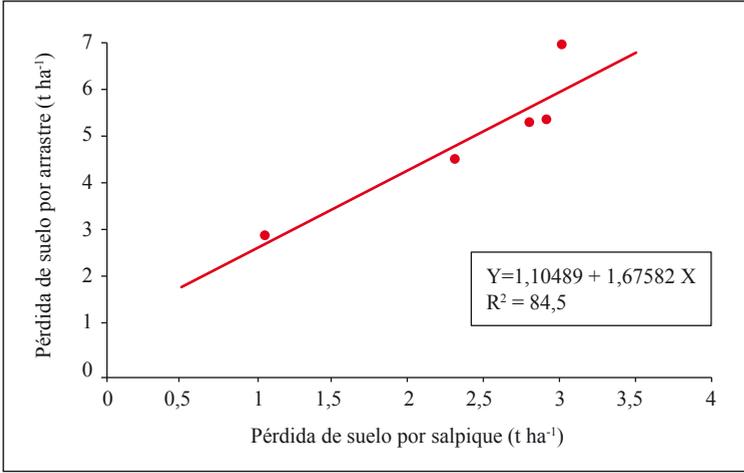


Figura 3. Relación entre la pérdida de suelo por arrastre y salpique ($t\ h^{-1}$) en cinco unidades de suelo de la región cafetera de Risaralda (Colombia), cuyos datos origen se presentan en la Tabla 2.

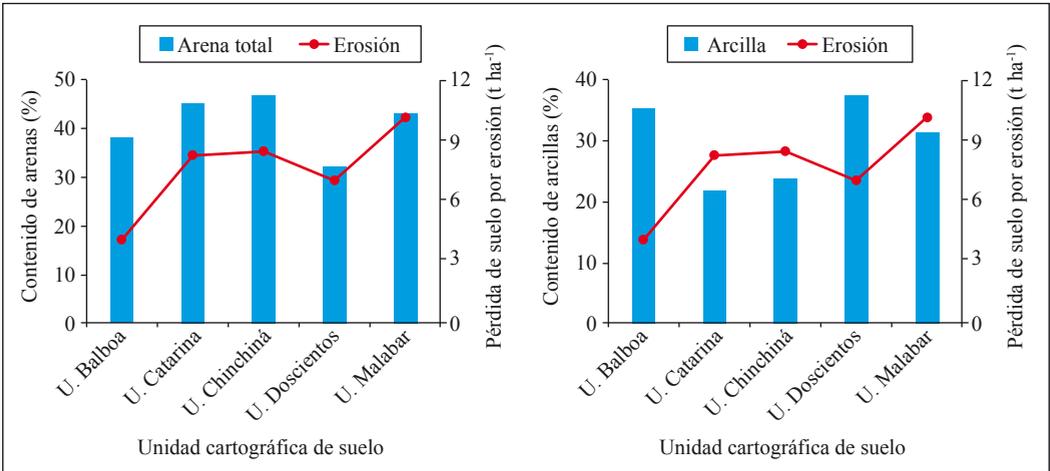


Figura 4. Distribución del contenido promedio de arenas, arcillas y erosión total, para las cinco unidades cartográficas de interés, en el departamento de Risaralda (Colombia).

Tabla 3. Simulación de pérdida de suelo potencial ($t\ ha^{-1}$) a causa de la erosión hídrica, de cinco unidades cartográficas en Risaralda, frente a tres eventos erosivos.

| Erosividad anual | Unidad cartográfica de suelo | | | | |
|------------------------|--------------------------------|----------|-----------|------------|---------|
| | Balboa | Catarina | Chinchiná | Doscientos | Malabar |
| | Erosión anual ($t\ ha^{-1}$) | | | | |
| 6.400 MJ mm ha^{-1} | 16,53 | 30,67 | 29,38 | 20,84 | 34,69 |
| 9.200 MJ mm ha^{-1} | 23,76 | 44,09 | 42,23 | 29,96 | 49,86 |
| 12.000 MJ mm ha^{-1} | 30,99 | 57,51 | 55,08 | 39,07 | 65,04 |

MJ mm ha⁻¹, el 87% del área puede perder entre 5 y 8 mm año⁻¹ y el área restante entre 3 y 5 mm año⁻¹ del horizonte superficial del suelo (Figura 5).

DISCUSIÓN

Los resultados hallados indican que la región cafetera de Risaralda puede estar expuesta a

grandes pérdidas de suelo cultivable a causa de la erosión hídrica. Los valores reales y teóricos de erosión potencial encontrados para la región cafetera de Risaralda se ubican en los mismos rangos que los reportados para los municipios de la cordillera Central, en el departamento de Quindío (Castro *et al.*, 2017) y para la región cafetera de Caldas (Centro, Occidente y Norte) (Ramírez e Hincapié, 2009).

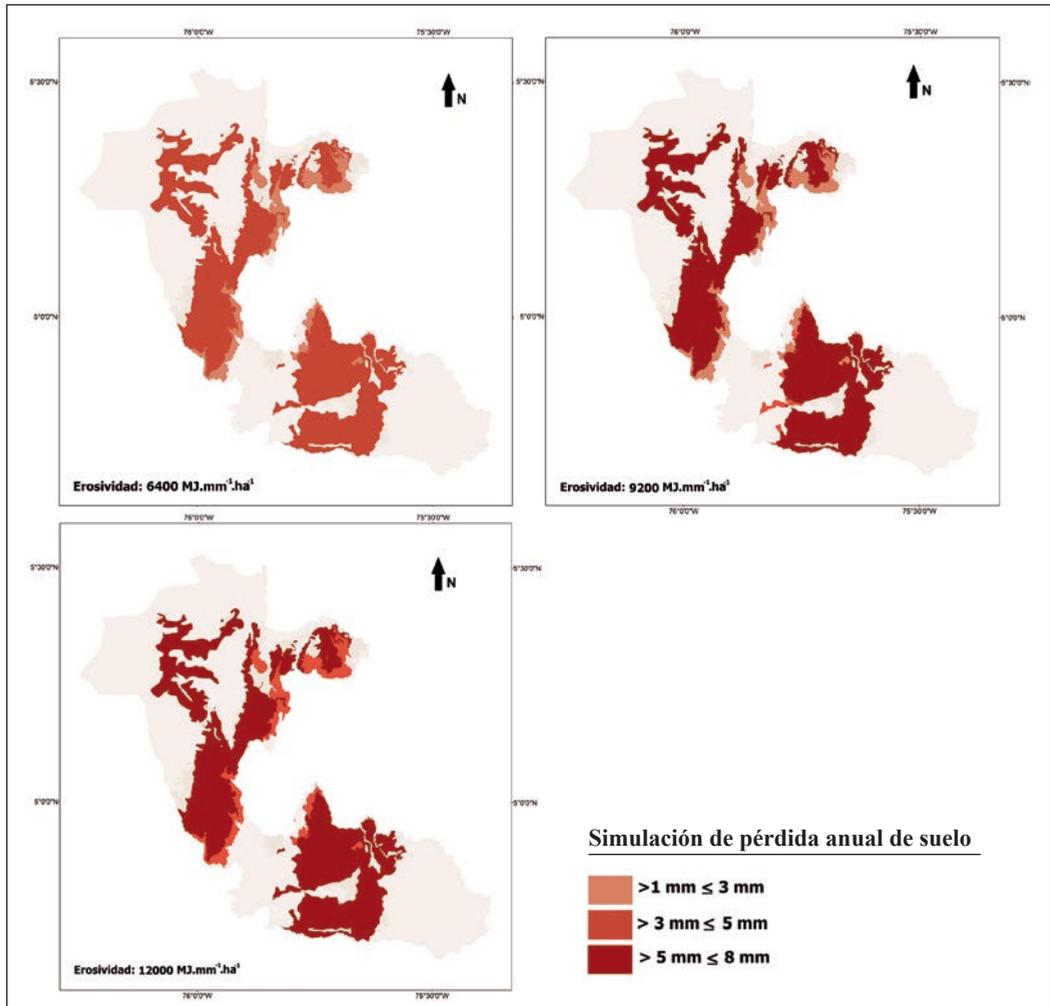


Figura 5. Espacialización de la pérdida anual de suelo superficial (mm), a causa de la erosión hídrica simulada para tres eventos erosivos 6.400, 9.200 y 12.000 MJ mm ha⁻¹.

Los valores de erosión total correlacionados positivamente con los contenidos de arena, se basan en una relación directa entre la fuerza motriz y el tamaño de las partículas (Choo *et al.*, 2018).

La relación entre las pérdidas de suelo por salpique y arrastre, hallada en esta investigación, también ha sido reportada por Hammad *et al.* (2004); sin embargo, esta puede cambiar, ya que está relacionada con la intensidad de la lluvia (Zhang *et al.*, 2018; Hao *et al.*, 2019), la inclinación de la pendiente (Mahmoodabadi y Sajjadi, 2016) y el tamaño medio de las partículas de arena (Choo *et al.*, 2018). Con relación a las demás correlaciones lineales encontradas, el mayor porcentaje de explicación fue de 15,12% con la variable contenido de arena, lo cual es bajo, tampoco se encontró explicación con los contenidos de materia orgánica, condición que es reportada en la literatura por Zhang *et al.* (2019). La relación inversa que se encontró entre el suelo perdido por salpique y el contenido de arcillas en la Unidad Doscientos se atribuyó a que las arcillas menores de 20 μm mejoran la cohesión y bajan la pérdida de suelo, mientras que las arcillas mayores de 20 μm se desprenden fácilmente y se correlacionan con una mayor pérdida de suelo (Knapen *et al.*, 2007), situación que es factible en dichos suelos de origen ígneo básico, que por la naturaleza sus minerales primarios meteorizan en arcillas de tamaño fino.

Para la Unidad Malabar, proveniente de cenizas volcánicas, se encontró la mayor pérdida de suelo y los menores contenidos de materia orgánica, dinámica que se relacionó con el poder aglutinante de esta última sobre las partículas de suelo (Ouyang *et al.*, 2018), la cual es mayor en la unidad Chinchiná que, en mineralogía y distribución del tamaño de partículas, es similar a Malabar, y se encontró

menor pérdida de suelo. Los menores niveles de erosión se presentaron en la Unidad Balboa, posiblemente atribuido al material parental, que por tratarse principalmente de minerales silíceos son más resistentes al intemperismo que las otras unidades litológicas estudiadas, esto sumado al contenido de materia orgánica y a una proporción similar de arenas, limos y arcillas. Los resultados de la investigación indicaron que el material parental, entre otras propiedades, desempeña un papel importante en los procesos erosivos, tal como lo indican Rodrigo-Comino *et al.* (2018).

Los niveles de pérdida de suelo en la zona de estudio a una intensidad de lluvia de 80 mm h^{-1} , comparados con las clasificaciones propuestas por varios autores (Li *et al.*, 2014) son muy bajos para la unidad Balboa y bajos para las demás unidades cartográficas. Para las simulaciones de 6.400 y 9.200 MJ mm ha^{-1} , son bajos para la unidad Balboa y moderados para las demás unidades y, finalmente, en la simulación de 12.000 MJ mm ha^{-1} , es moderado para Balboa y severo para las otras cuatro unidades de suelo. Sin embargo, las pérdidas de suelo por erosión hídrica pueden ser disminuidas mediante la implementación de prácticas de conservación de suelos, ya que según los resultados de Dai *et al.* (2018), la implementación de cobertura muerta disminuye las pérdidas de suelo en 81% y la labranza reducida en un 49%, lo que llevaría las máximas pérdidas simuladas (65,04 t ha^{-1}) a 12,34 t ha^{-1} , pasando de un nivel severo a bajo. Dado que los resultados incluidos son restringidos a una pendiente de 45° y suelo sin cobertura, se considera pertinente para próximos estudios cuantificar la pérdida de suelo a diferentes pendientes y con diferentes tipos de cobertura.

La investigación permitió concluir que la región cafetera de Risaralda está expuesta a niveles de pérdida de suelo por erosión

hídrica de bajos a severos, con pérdidas por arrastre debido a la escorrentía mayores que por salpique, los cuales varían según la unidad cartográfica de suelo y la intensidad de la lluvia.

Se considera pertinente que los caficultores implementen prácticas de conservación de suelos, dado que la zona cafetera de Risaralda presenta condiciones que favorecen la erosión hídrica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la ONG Solidaridad Andes, especialmente al ingeniero Carlos Isaza por el apoyo en la investigación, al Comité Departamental de Cafeteros de Risaralda, al investigador científico Juan Carlos Gómez Soto y a las Disciplinas de Suelos y Agroclimatología de Cenicafé.

LITERATURA CITADA

- Castro, A.F., Lince, L.A., Riaño, O. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 8(1), 17-26.
- Choo, H., Park, K.H., Won, J., & Burns, S.E. (2018). Resistance of coarse-grained particles against raindrop splash and its relation with splash erosion. *Soil and tillage research*, 184, 1-10.
- Cook, H.L. (1937). The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil science society of America Journal*, 1(C), 487-494.
- Dai, C., Liu, Y., Wang, T., Li, Z., & Zhou, Y. (2018). Exploring optimal measures to reduce soil erosion and nutrient losses in southern China. *Agricultural water management*, 210, 41-48.
- Dunkerley, D. (2008). Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments: a comparative review

with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological processes: An international journal*, 22(22), 4415-4435.

- FAO. (2015). Understanding mountain soils: A contribution from mountain areas to the International year of soils 2015. Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4704e.pdf>
- FAO, ITPS. (2015). Status of the world's soil resources (SWSR)–Main report. Food and agriculture organization of the United Nations and Intergovernmental technical panel on soils. Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia–FNC. (1988). Estudio de zonificación y uso potencial de los suelos en la zona cafetera del departamento de Risaralda. Bogotá, Colombia.
- Fernández-Raga, M., Palencia, C., Keesstra, S., Jordan, A., Fraile, R., Angulo-Martínez, M., & Cerda, A. (2017). Splash erosion: a review with unanswered questions. *Earth-science reviews*, 171, 463-477.
- Foster, G.R., McCool, D.K., Renard, K.G., & Moldenhauer, W.C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(6), 355-359.
- Hammad, A.A., Lundekvam, H., Borresen, T. (2004). Adaptation of RUSLE in the eastern part of the mediterranean region. *Environmental management*, 34(6), 829-841.
- Hao, H.X., Wang, J.G., Guo, Z. L., Hua, L. (2019). Water erosion processes and dynamic changes of sediment size distribution under the combined effects of rainfall and overland flow. *Catena*, 173, 494-504.
- Hincapié, E., Salazar, L.F. (2012). Impacto de la erosión hídrica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y sobre la producción del cultivo de café. *Revista Cenicafé*, 62(2), 79-89.
- Otero, J., Sánchez, R., Ojeda, E., Álvarez, C., Gómez, C., Carrillo, H., ... & Camacho, M. *Protocolo para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos y tierras por erosión*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023647/Protocolo-erosion.pdf>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos (6ª ed.). Bogotá, Colombia: IGAC.

- Knäpen, A., Poesen, J., Govers, G., Gyssels, G., Nachtergaele, J. (2007). Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth-science reviews*, 80 (1-2), 75-109.
- Li, X., Zhang, X., Zhang, L., Wu, B. (2014). Rainfall and vegetation coupling index for soil erosion risk mapping. *Journal of soil and water conservation*, 69(3), 213-220.
- Lince, L.A., Castaño, W.A., Castro, A.F., & Torres, F.A. (2016). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Risaralda, Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 7(1), 37-45.
- Mahmoodabadi, M., Sajjadi, S.A. (2016). Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Geomorphology*, 253, 159-167.
- Mhaske, S.N., Pathak, K., & Basak, A. (2019). A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena*, 172, 408-420.
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X. (2018). Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the total environment*, 613, 798-809.
- Ramírez, F.A., & Hincapié, E. (2009). Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas. *Revista Cenicafé*, 60(2):173-189.
- Rivera, J.H. (1990). Determinación de los índices de erosividad, erodabilidad y erosión potencial en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería agronómica. 310 p. Tesis
- Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Gyasi-Agyei, Y., Terol, E., & Cerdà, A. (2018). Effects of parent material on soil erosion within Mediterranean new vineyard plantations. *Engineering geology*, 246, 255-261.
- Wilken, F., Baur, M., Sommer, M., Deumlich, D., Bens, O., & Fiener, P. (2018). Uncertainties in rainfall kinetic energy-intensity relations for soil erosion modelling. *Catena*, 171, 234-244.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Eos, Transactions american geophysical union*, 39(2), 285-291.
- Zhang, Q., Wang, Z., Wu, B., & Shen, N. (2018). Identifying sediment transport capacity of raindrop-impacted overland flow within transport-limited system of interrill erosion processes on steep loess hillslopes of China. *Soil and Tillage Research*, 184, 109-117.
- Zhang, B.J., Zhang, G.H., Yang, H.Y., & Wang, H. (2019). Soil resistance to flowing water erosion of seven typical plant communities on steep gully slopes on the loess plateau of China. *Catena*, 173, 375-383.