

IMPACTO DE LA EROSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Edgar Hincapié-Gómez*; Luis Fernando Salazar- Gutiérrez**

RESUMEN

HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Impacto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café. Revista Cenicafé 62 (2): 79-89. 2011

La erosión del suelo es considerada el principal problema agrícola y ambiental que amenaza la calidad y productividad de los recursos suelo y agua, especialmente en zonas de ladera. Con el fin de evaluar el efecto de la erosión sobre la calidad del suelo y la producción de café, se compararon las propiedades físicas y químicas y la producción de café, registradas en parcelas con diferentes grados de erosión. El estudio se realizó en la Estación Experimental El Rosario, en Venecia (Antioquia), en suelos de la unidad Venecia (*Typic Dystropept*). En un terreno con signos de erosión, se sembró un cultivo de café variedad Colombia y se establecieron ocho tratamientos, en cuatro fases de erosión: muy leve, leve, moderada y severa, combinadas con dos sistemas de manejo, suelo libre de coberturas y con coberturas. En cada unidad experimental se evaluaron las propiedades físicas, hidráulicas y químicas y se registró la producción de café durante tres cosechas. Dentro de una misma fase de erosión no hubo efecto del sistema de manejo sobre las variables evaluadas, se registró el efecto de las fases de erosión sobre las propiedades densidad aparente, porosidad total, estabilidad estructural, distribución de agregados en seco, distribución de partículas por tamaño, retención de humedad, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. La producción de café en las parcelas con erosión severa se redujo en promedio el 51% en comparación con las parcelas con erosión muy leve, 60% en comparación con parcelas con erosión leve y 54% comparada con las parcelas con erosión moderada.

Palabras clave: Erosión hídrica, calidad del suelo, producción de café, agricultura sostenible.

ABSTRACT

Soil erosion is considered the main agricultural and environmental problem that threatens the quality and productivity of soil and water resources, especially on slopes. In order to evaluate the effect of erosion on soil quality and coffee production, the physical and chemical properties and coffee production recorded in plots with different degrees of erosion were compared. The study was conducted at the Experimental Station El Rosario, in Venecia (Antioquia) in soils of the Venecia unit (*Typic Dystropept*). A Colombia variety crop was planted in a terrain with signs of erosion and eight treatments were established in four erosion phases: slight, mild, moderate and severe combined with two management systems, cover-free floor and covered floor. In each experimental unit physical, hydraulic and chemical properties were evaluated and coffee production was recorded during three harvests. Within an erosion phase the management system had no effect on the evaluated variables, the effect of the erosion phases on the bulk density soil properties, total porosity, structural stability, dry aggregate distribution, particle distribution by size, moisture retention, organic matter content and cation exchange capacity were all recorded. Coffee production in the plots with severe erosion was reduced on average by 51% compared to the plots with very slight erosion, 60% compared to the plots with slight erosion and 54% compared to plots with moderate erosion.

Keywords: Water erosion, soil quality, coffee production, sustainable agriculture.

* Investigador Científico I. Suelos (Hasta junio de 2012).

** Investigador Científico I. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La erosión del suelo definida como el proceso de desprendimiento, transporte y depósito de los agregados o partículas del suelo por efecto de agentes erosivos como el agua, se considera la mayor amenaza para la degradación de los recursos suelo y agua, y a su vez, puede afectar adversamente la calidad y productividad del recurso edáfico, especialmente en áreas susceptibles a procesos de degradación (19, 20). En Colombia, el cultivo de café se localiza principalmente en regiones de ladera, con predominio de altas precipitaciones y de suelos jóvenes, factores que favorecen la erosión y que, sumado al uso y manejo inadecuados del suelo, aceleran el proceso hasta alcanzar niveles avanzados que afectan la sostenibilidad y productividad (11).

La erosión puede tener impacto negativo tanto en el sitio donde ocurre como fuera de éste; los principales impactos en el sitio son la degradación de las propiedades físicas, hidrológicas, químicas y biológicas del suelo y, por lo tanto, el detrimento en la producción de los cultivos, mientras que fuera del sitio los principales impactos están relacionados con la sedimentación en ríos y embalses, deterioro de la calidad del agua y cambios en los patrones hidrológicos, entre otros (20).

Lal (18), Malhi *et al.* (26), Olson *et al.* (32), Larney *et al.* (23), Larney y Janzen (22), Arriaga y Lowery (1), Polyakov y Lal (35) y Larney *et al.* (24), reportan efectos de la erosión sobre la degradación de las propiedades físicas y químicas de los suelos, especialmente sobre la reducción de la profundidad del perfil, de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, y disminución en el contenido de materia orgánica y nutrimentos. Nizeyimana y Olson (30) encontraron que la erosión del suelo afecta negativamente la retención de humedad y la

capacidad de almacenamiento de agua en el suelo; Frye *et al.* (10) reportan incrementos de la densidad aparente; Battison *et al.* (3) y Lowery *et al.* (25) reportan cambios en la textura y la conductividad hidráulica, mientras que Rhoton y Tyler (36) y Fenton *et al.* (8) reportan reducción del contenido de carbono orgánico y de nutrimentos debidos a la erosión.

La determinación de la relación entre la erosión y la productividad del suelo es compleja, debido a que las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste no son los únicos factores que influyen en la producción de los cultivos, además el impacto de la erosión puede ser parcialmente compensada con la adición de materia orgánica, fertilizantes, utilización de prácticas culturales que mejoren la relación de aire del suelo y la infiltración del agua, y por el continuo incremento del nivel tecnológico, implicados en la producción de los cultivos (5, 8, 18, 34).

Existen varios métodos para cuantificar los efectos de la erosión sobre la calidad y productividad de los cultivos, tales como la remoción de capas de suelo seguido de ensayos comparativos de crecimiento y rendimiento de los cultivos (9, 21, 23, 26, 27), la adición de diferentes cantidades de suelo a un suelo severamente erosionado (28, 32) o la comparación de la producción obtenida a nivel de campo en suelos con diferentes grados de erosión natural, donde sea posible estimar la erosión pasada y conocer la historia del manejo del suelo y de los cultivos (10, 19, 20, 29, 30, 31).

Mbagwu *et al.* (27) muestran reducción del 95% y 63% en la producción de maíz y garbanzo, respectivamente, por la remoción de 5 cm de suelo superficial en un Ultisol en Nigeria; para los mismos cultivos, en un

Alfisol se reportaron reducciones del 31% y 94%, respectivamente; Sparoveck *et al.* (39) mostraron que la disminución del rendimiento de soya obtenido en un *Ferric Acrisol* fue significativa hasta la remoción de 15 cm de suelo, llegando a ser nula después de la remoción de 20 cm de suelo; mientras que Larney *et al.* (23) registraron una disminución entre 8% y 53% en la producción de trigo por la reducción entre 5 y 20 cm de la capa superficial del suelo. En otro estudio, Malhi *et al.* (26), en Mollisoles en Canadá, reportaron que la erosión disminuyó no sólo el N del suelo por remoción física, sino que también se afectó el potencial de mineralización del N remanente en el suelo.

En Colombia, en un Andisol de la zona cafetera, se encontró que las pérdidas del horizonte superficial y de 5 a 10 cm del segundo horizonte redujeron la producción de maíz en un 73,3% (6), mientras que en un Inceptisol la remoción artificial de la capa superficial del suelo redujo la productividad de cultivos de sorgo, maní y yuca (9).

Cuantificar los impactos negativos de la erosión en términos de calidad y disminución de la capacidad productiva del suelo es de gran importancia para la toma de decisiones y diseño de políticas orientadas a un mejor uso y manejo de los suelos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la erosión hídrica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y sobre la producción del cultivo de café en un suelo de la zona cafetera de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental El Rosario de Cenicafé, ubicada en el municipio de Venecia (Antioquia), a 5°56'N, 75°42'O, a 1.635 m de altitud, con una precipitación anual de 2.600 mm,

temperatura media de 19,9°C y humedad relativa del 74%. Se usó un terreno clasificado fisiográficamente como pendiente convexa, topografía circundante montañosa, suelo derivado de areniscas y arcillolitas, clasificado taxonómicamente como *Typic dystropept*, a escala de serie como unidad Venecia, con drenaje de medio a moderadamente bien drenado (7).

Se utilizó la metodología de fases de erosión descrita por Olson *et al.* (32) y por Lal (19, 20), la cual consistió en la identificación de sitios con diferentes fases de erosión y la posterior comparación de las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café obtenida en cada fase de erosión.

Se seleccionó un lote de 0,5 ha, con pendiente del 25% al 75%, con evidencias de erosión, tradicionalmente cultivado con café. Se realizó la medición de la profundidad del primer horizonte del terreno, mediante un muestreo sistemático, recorriendo todo el lote, con el fin de verificar y agrupar los sitios por fases de erosión, así:

- Muy leve: Sitios que presentaron el valor máximo del espesor del primer horizonte y hasta un 10% menos de este valor.
- Leve: Sitios con 50% ± 10% del valor máximo observado del primer horizonte.
- Moderada: Sitios con 25% ± 10% del valor máximo observado del primer horizonte.
- Severa: Sitios con pérdida total del primer horizonte e incluso parte del segundo horizonte

Una vez identificados y demarcados los sitios en cada fase de erosión, en éstos se establecieron las unidades experimentales,

constituidas por parcelas de café sembradas a 1,3 m x 1,3 m, con 16 plantas, 4 efectivas y 12 de borde. Para cada unidad experimental se establecieron los tratamientos conformados por las cuatro fases de erosión: (1) muy ligera, (2) leve, (3) moderada y (4) severa, combinadas con dos sistemas de manejo de suelo (1) suelo totalmente libre de coberturas mediante la aplicación de herbicidas y (2) suelo con coberturas, mediante el manejo integrado de arvenses, basado en la integración de los diferentes métodos de manejo de arvenses como el manual, mecánico y químico en forma selectiva (12). En total se tuvieron ocho tratamientos, cada uno con mínimo tres repeticiones.

En el centro de cada unidad experimental, al inicio de la investigación, a tres profundidades del suelo (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm), se evaluaron las siguientes propiedades físicas y químicas: Distribución de partículas por tamaño, por el método de Bouyoucus, con dispersión con pirofosfato de Na al 8% y distribución de agregados en seco por el método del Ro-tap (17), estabilidad estructural por el método de Yoder (40), resistencia a la penetración *in situ* con penetrómetro de impacto (15), densidad aparente con cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura, conductividad hidráulica saturada por el método de la carga hidráulica constante, retención de humedad en el suelo a 0,03 MPa, 0,1 MPa y 1,5 MPa con la metodología de las placas de Richard's (17) y el contenido de materia orgánica, la capacidad de Intercambio Catiónico, pH y contenidos de P, K, Ca, Mg y Al, descritos por Carrillo (4).

Como variable de respuesta, durante tres cosechas, se registró la producción de café pergamino seco de las cuatro plantas de café efectivas, localizadas en el centro de cada una de las unidades de medición.

Análisis estadístico. La investigación correspondió a un diseño no experimental, se realizó el análisis de varianza para las propiedades físicas y químicas del suelo y para la variable producción de café, bajo un modelo aleatorio. La comparación de promedios entre tratamientos y la verificación de diferencias estadísticas entre ellos se realizó mediante la prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Al comparar los dos sistemas de manejo y las cuatro fases de erosión en cada profundidad, el análisis de varianza mostró que dentro de una misma fase de erosión no hubo efecto del sistema de manejo del suelo sobre las variables físicas, hidráulicas y químicas determinadas, debido posiblemente a que el período de evaluación fue muy corto para valorar dichos efectos, los cuales generalmente se expresan en períodos de 10 a 15 años (19); por lo tanto, se evaluó el efecto de las fases de erosión sobre las variables de respuesta.

En la Tabla 1, se presentan las propiedades físicas determinadas a tres profundidades, en suelos con diferente grado de erosión. Se encontró efecto de las fases de erosión sobre las propiedades físicas densidad aparente (DA), porosidad total (η), estabilidad estructural (DPM), distribución de agregados en seco (MWD) y distribución de partículas por tamaño (arenas, limos y arcillas).

La densidad aparente (DA) fue mayor en los sitios más erosionados y, consecuentemente, la porosidad total (η) fue menor en estos sitios. La estabilidad estructural determinada según el diámetro ponderado medio (DPM) decrece con el aumento de la erosión; en los suelos con erosión muy leve y leve, el DPM presentó valores cercanos a 3, calificado como

suelos con agregados estables (14), mientras que en los suelos con erosión severa, el DPM presentó valores cercanos a 1,5, calificados como ligeramente estables, esta variación puede estar asociada con los altos contenidos de materia orgánica y de arcillas en las fases menos erosionadas (Tabla 1).

El índice de distribución de agregados en seco por tamaño (MWD) aumentó con el grado de erosión, lo cual indica que la consistencia en seco de los suelos más erosionados varió desde dura hasta extremadamente dura, evidenciado por la estructura masiva y la alta proporción de terrones de tamaño grande (>6 mm) en dichos suelos. La resistencia a la penetración (RP) no presentó diferencias entre fases ni entre profundidades; en los suelos menos erosionados, el contenido de arcillas fue ligeramente mayor y el de arenas menor, lo cual permite inferir la pérdida de arcillas por efecto de la erosión, aunque en la literatura se ha reportado aumento en el contenido de arcillas cuando se pasa de una fase de erosión leve a severa (25, 38). En

este caso particular, la pérdida de arcillas por efecto de la erosión puede originarse por la exposición de substratos de suelo con alto contenido de arenas constituidas principalmente por cuarzo (40% a 60%), bien compactadas y cementadas, con alta resistencia mecánica y química, propios de los suelos de la unidad Venecia (7).

En la Tabla 2 se presentan las propiedades hidráulicas del suelo a tres profundidades, en función de diferentes fases de erosión. El análisis de varianza mostró efecto de las fases de erosión sobre la retención de humedad. En general, en las tres profundidades evaluadas se encontró mayor retención de humedad a las diferentes tensiones en los suelos menos erosionados, comparados con aquellos erosionados, lo cual puede estar asociado con alteraciones en el contenido de materia orgánica, densidad aparente, porosidad y distribución de partículas del suelo (3, 8, 10, 25, 30). La conductividad hidráulica saturada (K_s) no presentó diferencias estadísticas entre

Tabla 1. Variación de algunas propiedades físicas, por profundidad, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Prof. cm	D.A. g.cm ⁻³	η %	DPM mm	MWD mm	RP MPa	A	L	Ar
		% %							
Muy leve	0-5	0,85 c	0,68 a	3,23 a	4,10 b	0,53 a	32,88 a	22,13 a	45,00 a
Leve		0,95 b	0,64 b	2,89 ab	4,57 ab	0,53 a	33,70 a	21,90 a	44,40 a
Moderada		1,05 a	0,60 c	2,56 b	4,81 a	0,53 a	40,09 a	21,82 a	38,09 a
Severa		1,07 a	0,60 c	2,44 b	5,08 a	0,47 a	39,36 a	22,82 a	37,82 a
Muy leve	5-10	0,81 b	0,69 a	2,95 a	3,31 c	0,66 a	30,25 b	22,88 a	46,88 a
Leve		0,91 b	0,66 a	2,67 ab	3,74 bc	0,57 a	33,90 ab	20,90 ab	45,20 ab
Moderada		1,06 a	0,60 b	2,22 bc	4,14 ab	0,64 a	39,82 a	21,36 b	38,82 b
Severa		1,12 a	0,58 b	1,97 c	4,61 a	0,59 a	39,09 a	22,36 b	38,55 b
Muy leve	10-20	0,80 b	0,70 a	2,83 a	3,41 b	0,84 a	30,88 b	21,75 a	47,38 a
Leve		0,95 ab	0,66 ab	2,25 ab	3,84 ab	0,66 a	34,90 ab	20,10 a	45,00 ab
Moderada		1,12 a	0,58 b	1,82 b	4,46 a	0,78 a	39,27 a	21,27 a	39,45 ab
Severa		1,12 a	0,59 b	1,60 b	4,53 a	0,78 a	39,00 a	22,82 a	38,18 b

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

las fases de erosión en las profundidades evaluadas, aunque el rango de valores de K_s fue muy alto, entre 4,66 y 20,36 $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (14); diferentes autores concluyen que la conductividad hidráulica saturada (K_s) es una propiedad que presenta alta variabilidad espacial, que sumada al error asociado a los métodos de campo o laboratorio utilizados para su determinación (13, 16), generan alta variabilidad y, por lo tanto, no reflejan el impacto de la erosión.

En las Tablas 3 y 4 se presentan los valores de las variables químicas evaluadas a tres profundidades en suelos, con diferente grado de erosión. Se encontró que la erosión afecta propiedades como contenido de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de aluminio, magnesio, hierro, manganeso y cinc.

El contenido de MO presentó valores desde altos (12,88%) hasta bajos (<7%) para la producción del cultivo del café en Colombia (37); los bajos contenidos de

MO se deben básicamente a la pérdida de la capa superficial del suelo por efecto de la erosión, lo cual a su vez ocasiona alteración de otras propiedades como la densidad aparente, estabilidad estructural y retención de humedad, entre otras (8, 10, 24, 38). A 5 cm de profundidad, en suelos con erosión muy leve, se registraron altos contenidos de MO, mientras que a la misma profundidad, en suelos severamente erosionados el contenido de MO fue desde bajo (6,9%) a muy bajo (4,8%). La CIC determinada en las tres profundidades se redujo, conforme se pasa de una fase de erosión leve a una severa y en concordancia con el contenido de MO, la CIC fue mayor en los suelos menos erosionados.

El pH del suelo no presentó diferencias estadísticas entre las fases de erosión evaluadas, aunque se observó un ligero incremento de la acidez del suelo en las parcelas más erosionadas, Los valores de pH fluctuaron entre 4,68 y 4,38, el carácter ácido de estos suelos se atribuye a factores pedogenéticos

Tabla 2. Valores promedio de algunas propiedades hidráulicas, por profundidad, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión cm	Prof. cm	t	$\theta-0,01$ MPa	$\theta-0,1$ MPa	$\theta-1,5$ MPa	θ -Campo	K_s
				$\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$			$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$
Muy leve	0-5	0,6915 a	0,4815 a	0,4422 a	0,3602 a	0,5506 a	4,66 a
Leve		0,6553 ab	0,4174 b	0,3887 b	0,3091 b	0,4476b	7,37a
Moderada		0,6330 b	0,4359 b	0,3972 b	0,2855 bc	0,4309 b	5,24 a
Severa		0,6172 b	0,4375 b	0,4014 b	0,2659 c	0,3881 b	10,49 a
Muy leve	5-10	0,6861 a	0,4721 a	0,4278 a	0,3355 a	0,5543 a	12,27 a
Leve		0,6725 a	0,4344 b	0,3939 b	0,2791 b	0,4506 b	16,31 a
Moderada		0,6030 b	0,4322 b	0,3982 b	0,2780 b	0,4590 b	13,61 a
Severa		0,6160 b	0,4334 b	0,3977 b	0,2608 b	0,3880 b	7,93 a
Muy leve	10-20	0,6848 a	0,4965 a	0,4477 a	0,3223 a	0,5968 a	14,01 a
Leve		0,6581 a	0,4404 b	0,4038 b	0,2745 b	0,4621 b	20,36 a
Moderada		0,5899 b	0,4294 b	0,3888 b	0,2682 b	0,3989 b	7,11 a
Severa		0,5899 b	0,4285 b	0,3978 b	0,2501 b	0,3877 b	9,67 a

θ =Humedad volumétrica del suelo; θ -Sat.=Humedad volumétrica en el punto de saturación; Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%,

tales como el material parental (areniscas y arcillolitas) y factores ambientales como la alta pluviosidad de la región (7). El aluminio intercambiable presentó valores muy altos (entre 4,0 y 9,1 $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$) y están de acuerdo con el pH del suelo (7); se encontraron diferencias estadísticas entre las parcelas con erosión muy leve comparadas con las parcelas erosionadas, es así como los menores contenidos de Al se encontraron en las parcelas con erosión muy leve (Tabla 3).

En las tres profundidades evaluadas, el contenido de P, K y Ca, no presentó diferencias estadísticas entre las fases de erosión, mientras que los contenidos de Mg, Fe, Mn y Cu aumentaron conforme se incrementó el nivel de erosión, lo cual puede estar asociado con la exposición de horizontes o capas subsuperficiales con mayor contenido de estos elementos (Tabla 4).

En general, se puede observar una disminución en el contenido MO y de

bases, conforme se incrementa en la profundidad del suelo, lo cual indica que en estos suelos los nutrientes tienden a estar concentrados en la capa superficial, de allí que la pérdida de nutrimentos y de MO son estrictamente proporcionales a las pérdidas de suelo por erosión, lo cual provoca disminución en la concentración de nutrimentos en el suelo degradado remanente (20).

Efecto de la erosión sobre la producción del cultivo de café. En la Tabla 5 se presenta la producción de café pergamino seco, en kilogramos por parcela (plantas efectivas), registrada durante tres cosechas consecutivas, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes fases de erosión.

Se encontraron diferencias estadísticas entre la producción de café obtenida en las parcelas con suelos severamente erosionados, comparada con las demás fases de erosión; el promedio de la producción registrada en las parcelas con erosión muy leve, leve y

Tabla 3. Valores promedio de algunas variables químicas, por profundidad, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Profundidad cm	pH	M.O. %	CIC		Al
				$\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$		
Muy leve	0-5	4,58 a	12,88 a	26,00 a	4,00 b	
Leve		4,38 a	10,36 b	28,20 a	8,39 a	
Moderada		4,45 a	7,74 c	21,09 b	5,39 bc	
Severa		4,45 a	6,92 c	22,36 b	6,61 ac	
Muy leve	5-10	4,53 a	11,88 a	25,50 a	4,95 b	
Leve		4,38 a	8,62 b	26,40 a	9,15 a	
Moderada		4,43 a	6,55 bc	20,45 b	6,59 bc	
Severa		4,47 a	5,96 c	21,64 b	7,89 ac	
Muy leve	10-20	4,68 a	10,73 a	24,13 a	4,41 b	
Leve		4,53 a	7,07 b	21,90 ab	8,87 a	
Moderada		4,53 a	4,89 b	18,36 bc	6,90 a	
Severa		4,55 a	4,80 b	20,00 c	7,58 a	

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

Tabla 4. Valores promedio de los contenidos de nutrimentos, por profundidad en suelos de la unidad Venecia con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Prof. cm	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn
		cmol _c .kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹				
Muy leve	0-5	0,36 a	3,68 a	0,42 b	12,13 a	378,13 b	36,25 ab	1,50 a	3,50 a
Leve		0,39 a	1,91 a	0,63 b	8,20 a	721,70 a	27,20 b	1,50 a	2,80 ab
Moderada		0,47 a	2,76 a	0,74 ab	36,30 a	506,45 ab	62,82 ab	2,00 a	2,55 b
Severa		0,36 a	2,31 a	1,14 a	18,91 a	504,91 ab	77,45 a	2,00 a	3,36 ab
Muy leve	5-10	0,19 a	1,49 a	0,21 b	11,63 a	311,13 b	22,00 a	1,38 a	3,25 a
Leve		0,19 a	0,85 a	0,37 ab	4,00 a	554,90 a	15,20 a	1,30 a	2,20 a
Moderada		0,28 a	1,69 a	0,49 ab	21,55 a	454,09 ab	54,91 a	1,91 a	2,27 a
Severa		0,22 a	1,49 a	0,73 a	12,55 a	403,09 ab	50,36 a	1,91 a	2,36 a
Muy leve	10-20	0,16 a	1,63 a	0,18 b	6,00 a	245,63 b	17,25 ab	1,13 a	3,50 a
Leve		0,14 a	0,62 a	0,29 b	2,20 a	480,00 a	12,00 b	1,20 a	1,40 b
Moderada		0,19 a	1,26 a	0,41 ab	6,55 a	350,55 b	51,27 ab	1,82 a	1,73 b
Severa		0,17 a	1,37 a	0,66 a	5,27 a	332,73 b	56,45 a	1,91 a	2,27 b

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

moderada no presentó diferencias estadísticas, durante los años 1 y 2, solamente en el tercer año de medición se observó una mayor producción en la fase de erosión leve.

En general, la producción de café obtenida en las parcelas con erosión severa se redujo en el 51% promedio, al compararla con la obtenida en las parcelas con erosión muy leve, 60% al compararla con la producción obtenida en las parcelas con erosión leve, y 54% comparada con la producción registrada en las parcelas con erosión moderada.

Numerosas investigaciones permiten concluir que la erosión ocasiona una disminución de la productividad del suelo (2, 9, 21, 24, 33), en este caso particular, se encontró que la producción de café se reduce drásticamente cuando se alcanzan niveles de erosión severos. La afectación de la fertilidad del suelo por efecto de la erosión en un mismo sitio puede variar según la posición en la ladera, pues

existen zonas más susceptibles donde las pérdidas pueden ser mayores y, por lo tanto, el impacto muy alto, y zonas de acumulación tales como la base de laderas o depresiones donde puede generarse un mejoramiento del suelo. De otro lado, la remoción del suelo por efecto de la erosión generalmente es un proceso desuniforme, lo cual implica que la pérdida de nutrientes y materia orgánica no es homogénea en toda el área afectada y sus efectos sobre la producción no son igualmente uniformes (19).

En última instancia, para las condiciones del estudio, la degradación del suelo como una consecuencia de la erosión ocasiona pérdida de materia orgánica y de nutrimentos, alteración de las propiedades físicas, hidráulicas y químicas y, consecuentemente, alteración de la fertilidad del suelo, lo cual debe considerarse como un detrimento de la calidad del suelo, por lo que deben tomarse las medidas preventivas para evitar o controlar el proceso de erosión hídrica.

Tabla 5. Promedios (Prom.) y variación (CV) de la producción de café pergamino seco (kg por parcela), obtenida de tres cosechas, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Año 1		Año 2		Año 3	
	Prom.	C.V. %	Prom.	CV. %	Prom.	CV. %
Muy leve	3,01 a	30,95	4,25 a	12,77	8,55 b	22,72
Leve	3,85 a	17,06	4,60 a	23,55	11,27 a	19,98
Moderada	3,62 a	24,86	4,01 a	26,04	8,87 b	20,60
Severa	1,56 b	66,58	1,75 b	77,61	4,46 c	31,53

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

AGRADECIMIENTOS

A los colaboradores de la Estación Experimental El Rosario. Al Ing. Agrónomo M.Sc. John Wilson Mejía M. y señor Iván De Jesús Arango P.

LITERATURA CITADA

- ARRIAGA, F.J.; LOWERY, B. Soil physical properties and crop productivity of an eroded soil amended with cattle manure. *Soil science* 168(12):888-899. 2003.
- BAKKER, M.M., GOVERS, G., ROUNSEVELL, M.D.A. The crop productivity-erosion relationship: An analysis based on experimental work. *Catena* 57(1):55-76. 2004.
- BATTISON, L.A., MILLER, M.H., SHELTON, I.J. Soil erosion and corn yield in Ontario: Field evaluation. *Canadian journal of soil science* 67(4):731-745. 1987.
- CARRILLO, I.F. Manual del laboratorio de suelos. Chinchiná : CENICAFÉ, 1985. 111 p.
- EL S., S.A. Soil erosion and conservation in the humid tropics. p. 233-255. En: PIMENTEL, D. *World soil erosion and conservation*. Cambridge : Cambridge university press, 1993. 349 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Cuarenta años de investigación en Cenicafé: Suelos. Chinchiná : CENICAFÉ, 1982. 74 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Estudio detallado de suelos de la subestación El Rosario - Antioquia. Bogotá : FEDERACAFÉ, 1985. 108 p.
- FENTON, T.E.; KAZEMI, M., LAUTERBACH B., M.A. Erosional impact on organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil and tillage research* 81(2):163-171. 2005.
- FLÖRCHINGER, F.A.; LEIHNER, D.E.; STEINMÜLER, N.; MÜLLER S., K.; EL-SHARKAWY, M.A. Effects of artificial topsoil removal on sorghum, peanut and cassava yield. *Journal of soil and water conservation* 55(3):334-339. 2000.
- FRYE, W.W.; EBELHAR, S.A.; MUDORCK, L.W.; BLEVIS, R.L. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. *Soil science society of America journal* 46(5):1051-1055. 1982.
- GÓMEZ, A.A.; GRISALES, G.A.; SUÁREZ, S.J. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná : CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GÓMEZ, A.A.; RAMÍREZ, C.J.; CRUZ, R.G.; RIVERA P., H. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera colombiana. Chinchiná : FEDERACAFÉ : CENICAFÉ, 1985. 254 p.
- GREEN, R.E.; COREY, J.C. Calculation of hydraulic conductivity: A further evaluation of some predictive methods. *Soil science society of America journal* 35(1):3-8. 1971.
- HAZELTON, P.A.; MURPHY, B.W. Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?. Sydney : CSIRO, 2007. 152 p.
- HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil science society of America journal* 66(4):1320-1324. 2002.
- JACKSON, R.D.; REGINATO, R.S.; BAVEL, C.H.M. VAN. Comparison of measured and calculated

- hydraulic conductivities of saturated soils. *Water resources research* 1(3):375-380. 1965.
17. KLUTE, A.Z. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties*. 2da. ed. Wisconsin : American society of agronomy and soil science of America, 1986. 1187 p.
 18. LAL, R. Soil erosion and its relation to productivity in tropical soils. p. 237-248. En: EL S., S.A.; MOLDENHAUER, W.C. *Soil erosion and conservation*. Iowa : Soil conservation society of America, 1985. 793 p.
 19. LAL, R. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. p. 187-200. En: LAL, R. *Soil erosion research methods*. Iowa : Soil and water conservation society, 1988. 244 p.
 20. LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical review plant science* 17(4):319-464. 1998.
 21. LARNEY, F.J.; IZAURRALDE, R.C.; JANZEN, H.H.; OLSON, B.M.; SOLBERG, E.D.; LINDWALL, C.W.; NYBORG, M. Soil erosion-crop productivity relationships for six Alberta soils. *Journal of soil and water conservation* 50(1):87-91. 1995.
 22. LARNEY, F.J.; JANZEN, H.H. A simulated erosion approach to assess rates of cattle manure and phosphorus fertilizer for restoring productivity to eroded soils. *Agricultural ecosystems and environmental* 65(2):113-126. 1997.
 23. LARNEY, F.J.; OLSON, B.M.; JANZEN, H.H.; LINDWALL, C.W. Early impact of simulated erosion and soil amendments on crop productivity. *Agronomy journal* 92(5):948-956. 2000.
 24. LARNEY, F.J.; JANZEN, H.H.; OLSON, B.M.; OLSON, A.F. Erosion productivity soil amendment relationships for wheat over 16 years. *Soil and tillage research* 103(1):73-83. 2009.
 25. LOWERY, B.; SWAN, J.; SCHUMACHER, T.; JONES, A. Physical properties of selected soils by erosion class. *Journal of soil and water conservation* 50(3):306-311. 1995.
 26. MALHI, S.S.; IZAURRALDE, R.C.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D. Influence of topsoil removal on soil fertility and barley growth. *Journal of soil and water conservation* 49(1):96-101. 1994.
 27. MBAGWU, J.S.C.; LAL, R.; SCOTT, T.W. Effects of desurfacing of alfisols and ultisols in southern Nigeria: Crop performance. *Soil science society of America journal* 48(4):828-833. 1984.
 28. MIELKE, L.N.; SCHEPERS, J.S. Plant response to topsoil thickness on an eroded loess soil. *Journal of soil and water conservation* 41(1):59-63. 1986.
 29. MOKMA, D.L.; SIETZ, M.A. Effects of soil erosion on corn yields on Marlette soils in south central Michigan. *Journal of soil and water conservation* 47(4):325-327. 1992.
 30. NIZEYIMANA, E.; OLSON, K.R. Chemical, mineralogical and physical property differences between moderately and severely eroded Illinois soils. *Soil science society of America journal* 52(6):1740-1748. 1988.
 31. OLSON, K.R.; CARMER, S.G. Corn yield and plant population differences between eroded phases of Illinois soils. *Journal of soil and water conservation* 45(3):562-566. 1990.
 32. OLSON, K.R.; LAL, R.; NORTON, L.D. Evaluation of methods to study soil erosion productivity relationships. *Journal of soil and water conservation* 49(6):586-590. 1994.
 33. PAPIERNIK, S.K.; SCHUMACHER, T.E.; LOBB, D.A.; LINDSTROM, M.J.; LIESER, M.L.; EYNARD, A.; SCHUMACHER, J.A. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform. *Soil and tillage research* 102(1):67-77. 2009.
 34. PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; LOBB, D.A.; LINDSTROM, M.J.; LIESER, M.L.; EYNARD, A.; SCHUMACHER, J.A. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267(5201):1117-1123. 1995.
 35. POLYAKOV, V.O.; LAL, R. Soil organic matter and CO₂ emission as affected by water erosion on field runoff plots. *Geoderma* 143(1/2):216-222. 2008.
 36. RHOTON, F.E.; TYLER, D.D. Erosion induced changes in the properties of a Fragipan soil. *Soil science society of America journal* 54(1):223-228. 1990.
 37. SADEGHIAN K., S. La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. *Chinchiná : CENICAFÉ*, 2010. 61 p.
 38. SCHERTZ, D.L.; MOLDENHAUER, W.C.; LIVINGSTON, S.J.; WEESIES, G.A.; HINTZ,

- E.A. Effect of past soil erosion on crop productivity in Indiana. *Journal of soil and water conservation* 44(6):604-608. 1989.
39. SPAROVECK, G.; TERAMOTO, E.R.; TORETA, D.M.; ROCHELES, T.C.A.; SHAYER, E.P.M. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. *Revista brasileira ciencia do solo* 15(3):363-369. 1991.
40. YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of american society of agronomy* 28(5):337-351. [1936].