

EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA ZONA CAFETERA CENTRAL Y OCCIDENTAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS¹

Fernando Andrés Ramírez-Ortiz^{*}; Edgar Hincapié-Gómez^{**};
Siavosh Sadeghian-Khalajabadi^{**}; Uriel Pérez-Gómez^{***}

RESUMEN

RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E.; SADEGHIAN KH., S.; PÉREZ G., U. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. Cenicafé 58(1):40-52. 2007.

La zona cafetera colombiana se caracteriza por presentar lluvias de gran intensidad y duración, las cuales pueden causar graves problemas de erosión que llevan a una disminución de la productividad, principalmente en zonas de ladera, cuando no se da el uso y manejo adecuados de los suelos. El conocimiento de la erosividad de las lluvias es una herramienta básica para la zonificación y planificación del uso de los suelos. En esta investigación se delimitaron zonas de acuerdo a la agresividad de sus lluvias, se utilizó la información pluviométrica de 34 estaciones de la red climática de Cenicafé, ubicadas en el área de influencia de la zona de estudio entre los 04° 55' a 05° 42' Latitud Norte y 75° 58' a 75° 21' Longitud Oeste y altitudes entre 1.000 a 2.000m. Se evaluó la erosividad mediante la estimación del Índice de Fournier Modificado (*IFM*), el cual expresa el potencial erosivo de las lluvias según la precipitación mensual. Los valores del *IFM* variaron entre 173,9 y 267,9 y se correlacionaron con el factor de erosividad (EI_{30}) de la USLE, determinado en anteriores investigaciones en Cenicafé para un periodo de 15 años en algunas de las estaciones climáticas. Los resultados fueron espacializados mediante interpolación geoestadística, posteriormente se construyeron mapas de erosividad o Factor R, *IFM* y de concentración de las lluvias para la zona de estudio mediante el uso de sistemas de información geográfica.

Palabras clave: Índice de Fournier Modificado, potencial erosivo, estaciones climáticas, geoestadística.

ABSTRACT

The Colombian coffee zone is characterized by having a high intensity and length of rain periods, which may cause serious trouble regarding erosion that lead to a decrease in productivity, mainly in slope lands when there is not an appropriate soil use and management. The knowledge about the rains eroding effect is a basic tool for the zoning and planning of the soils use. In this research there was a delimitation of zones according to their rains aggressiveness using the pluviometric information of 34 climatic stations of the Cenicafé meteorological network located in the influence area of the study zone between 04° 55' and 05° 42' NL and 75° 58' and 75° 21' WL and elevations between 1,000 and 2,000m. The erosivity was evaluated through the estimation of the Modified Fournier Index (*IFM*), which expresses the erosive potential of rains according to the monthly precipitation. The *IFM* values varied between 173.9 and 267.9 and were correlated with the USLE erosivity factor (EI_{30}), previously determined with works of research carried out at Cenicafé in some climatic stations for a period of 15 years. The results were spacialized by means of geostatistic interpolation and then the erosivity map or R Factor map, *IFM* map and Rain concentration map for the study zone were designed using geographic information systems.

Keywords: Modified Fournier Index, erosive potential, climatic stations, geostatistics.

¹ Fragmento de la tesis "Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del departamento de Caldas", presentada por el primer autor para optar al título de Ingeniero Forestal de la Universidad del Tolima.

* Ingeniero Forestal, Universidad del Tolima.

** Investigador Científico I e Investigador Científico II, respectivamente. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Profesor, Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad del Tolima

En Colombia el proceso de erosión ocurre en más del 70% de los suelos, y cerca del 97% de ésta es causada por acción de la lluvia. En la zona cafetera alrededor del 90% de los suelos son afectados por algún grado de erosión hídrica (16). Suárez de Castro y Rodríguez (18), afirman que la erosión de los suelos es un fenómeno físico, multicondicionado, y puede expresarse mediante el modelo matemático:

$$\text{Erosión} = f(\text{Activos}, \text{Pasivos}, \text{Atemperantes})$$

Los factores activos son la lluvia y la escorrentía, el factor pasivo es el suelo y el factor atemperante es la vegetación.

El conocimiento de la agresividad de las lluvias (erosividad) es importante como parte de un instrumento para la zonificación y la planificación del uso y manejo de los suelos (11). Además, es una herramienta básica para la toma de decisiones administrativas y de investigación y transferencia de tecnología, y que incluyen medidas encaminadas a la protección y al ordenamiento integral de los recursos suelo-agua de la finca, la cuenca hidrográfica o la nación.

El factor R puede utilizarse para definir la erosividad de eventos pluviales específicos, con el fin de obtener un valor que pueda considerarse un promedio anual representativo de erosividad. Wischmeier y Smith (19), generaron mapas de isoerosividad para Estados Unidos, como resultado del análisis de series de 22 años. De acuerdo con Hudson (8), uno de los factores más importantes para predecir la erosión de los suelos es la erosividad o factor R, expresado en términos de cantidad e intensidad de lluvia, lo cual determina su potencial erosivo al cuantificar el efecto del impacto de la gota de lluvia. En consideración a la necesidad de obtener un valor promedio de erosividad, se han

desarrollado varios índices que caracterizan la erosividad como el valor obtenido a partir de la ecuación de pérdida de suelo USLE (19), o de modificaciones y revisiones como la MUSLE y la RUSLE (13, 15).

Debido a la dificultad para determinar el factor R de la USLE, ya que para su cálculo debe contarse con registros pluviográficos diarios durante un número elevado de años, y calcular la energía cinética y la intensidad de los aguaceros en forma aislada, diversos autores han propuesto métodos adicionales para definir el factor de erosividad de una manera simple y aplicable a las condiciones regionales.

Hudson (8), después de aplicar el índice EI_{30} de Wischmeier y Smith en África, definió el índice $KE > 1$ para cuantificar la erosividad de las lluvias; así mismo, Fournier definió un índice, el cual ha sido ampliamente utilizado por su facilidad de obtención, un ejemplo fue descrito en las colonias francesas, con altas correlaciones al compararlo con el factor EI_{30} de la USLE (5). Arnoldus (1) y Hoyos *et al.* (7), establecieron que el Índice de Fournier modificado (*IFM*) es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de los procesos erosivos en zonas tropicales.

En la zona cafetera colombiana se evaluó la erosividad de las lluvias mediante el índice de erosión pluvial de Fournier y se correlacionó con el factor de erosividad propuesto por Wischmeier y Smith (19), y como resultado se encontró una regresión lineal alta ($R^2=0,92$) entre estos dos factores (5).

Rivera y Gómez (17) evaluaron la erosividad anual de las lluvias para la zona cafetera colombiana por el método de Hudson, y encontraron valores de bajos a altos (5,065 a 13,083 $\text{tm.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{año}^{-1}$).

El objetivo de esta investigación fue zonificar la región cafetera central y occidental del departamento de Caldas, de acuerdo con la erosividad de las lluvias.

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t} \quad <1>$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El estudio se llevó a cabo en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas, comprendida entre 04° 55' a 05° 42' de Latitud Norte y 75° 58' a 75°21' de Longitud Oeste, con un área de aproximadamente 140.000ha, en un rango altitudinal entre 1.000 y 2.000m. La precipitación anual de la región varía entre 1.708 y 2.695mm. La zona de estudio comprendió los municipios de Marmato, Riosucio, Anserma, Belalcázar, San José, Viterbo, Manizales, Chinchiná, Palestina, Neira, Villamaría, Filadelfia, Pácora, La Merced, Aranzazu, Aguadas y Salamina correspondiente a los ecotopos cafeteros¹ 106B, 107B, 204A, 205A, 206A y 207A (3, 4).

Factor de erosividad de la lluvia. Para la determinación del factor de erosividad se utilizaron los registros diarios de lluvia de 34 estaciones de la red climática de Cenicafé, previamente georeferenciadas (Tabla 1), para un período mínimo de 10 años.

A partir de esta información se estimó el Índice de Fournier Modificado (*IFM*) para cada año, mediante la ecuación <1> reportada por Arnoldus (1), éstos se promediaron y se obtuvo un valor para cada estación, los cuales se clasificaron de acuerdo con los rangos del *IFM* propuestos para Latinoamérica por Lobo *et al.* (10) (Tabla 2).

donde:

IFM= Índice de Fournier Modificado

p_i = Precipitación mensual (mm)

P_t = Precipitación anual (mm)

Con el fin de obtener una aproximación que permita determinar el factor R-USLE a partir del *IFM*, se correlacionaron los valores promedios mensuales del *IFM* obtenidos, con los valores promedios mensuales del factor R o EI_{30} de la USLE estimados por Rivera (16), para un período de 15 años en algunas de las estaciones que disponían de información común. Posteriormente, se construyeron los mapas de erosividad o factor R, utilizando como herramientas el software GS+ 3.1 e ILWIS 3.3, y partiendo del cumplimiento de los supuestos de normalidad, estacionaridad y continuidad espacial.

La erosividad se calificó utilizando la clasificación propuesta por Rivera y Gómez (17) para la zona cafetera colombiana (Tabla 3).

Adicionalmente y con el fin de determinar la variación temporal de la distribución de las lluvias, se calculó el índice de concentración de la precipitación (*ICP*) mediante la ecuación <2>, propuesta por Oliver (12). Éste se estimó para cada año, y posteriormente se obtuvo un valor medio para cada estación climática.

¹ Regiones cafeteras con características agroecológicas similares.

Tabla 1. Estaciones de la red climática de Cenicafé (2).

Municipio	Estación	Latitud (N)		Longitud (W)		Altitud (m)
		Grados	Minutos	Grados	Minutos	
Manizales	La Juliana	05	8	75	29	1.785
Manizales	Santa Teresa	05	7	75	32	1.698
Manizales	Santa Teresita	05	4	75	37	1.172
Filadelfia	El Mirador	05	14	75	34	1.650
Manizales	Las Colinas	05	6	75	34	1.450
Palestina	Santa Ana	05	1	75	41	1.278
Chinchiná	La Francia	04	59	75	41	1.267
Palestina	La Palma	05	1	75	41	1.165
Chinchiná	La Sierra	04	59	75	38	1.440
Palestina	La Argentina	05	2	75	41	1.354
Chinchiná	Naranjal	04	58	75	39	1.381
Balboa*	La Tribuna	04	57	75	58	1.580
Belén de Umbría*	La Elvira	05	11	75	52	1.540
Guática*	Ospirma	05	20	75	49	1.661
Manizales	La Selva	05	5	75	36	1.312
Chinchiná	Los Pomos	04	58	75	35	1.583
Manizales	Java	05	1	75	32	1.778
Chinchiná	La Divisa	04	59	75	36	1.590
Chinchiná	Cenicafé	05	0	75	36	1.310
Manizales	Agronomía	05	3	75	30	2.088
Palestina	Santágueda	05	4	75	40	1.026
Palestina	Granja Luker	05	4	75	41	1.031
Manizales	El Algarrobo	05	4	75	35	1.202
Neira	El Refugio	05	10	75	35	1.398
Filadelfia	La Julia	05	18	75	34	1.650
Pácora	La Linda	05	33	75	32	1.738
Pácora	La Cascada	05	28	75	33	1.961
Quinchía*	El Diamante	05	19	75	42	1.550
Marmato	El Descanso	05	30	75	37	1.803
Riosucio	La Argentina	05	28	75	42	1.420
Quinchía*	La Oriental	05	22	75	43	1.730
Supía	Rafael Escobar	05	27	75	38	1.307
Aguadas	Cuatro Esquinas	05	40	75	25	1.900
Aguadas	Guaymaral	05	39	75	27	1.600

* Estaciones pertenecientes al departamento de Risaralda

Tabla 2. Clasificación del *IFM* para Latinoamérica, propuesto por Lobo *et al.* (10).

Clase	Rango	Calificación
1	Menor de 60	Muy bajo
2	60 a 90	Bajo
3	90 a 120	Moderado
4	120 a 160	Alto
5	Mayor de 160	Muy alto

Tabla 3. Clasificación de la erosividad propuesta por Rivera y Gómez (17).

Código	Erosividad, R (MJ.mm.ha ⁻¹)	Calificación
1	Menor de 1.000	Natural
2	1.000 a 2.500	Muy baja
3	2.500 a 5.000	Baja
4	5.000 a 7.500	Moderada
5	7.500 a 10.000	Alta
6	10.000 a 15.000	Muy alta
7	15.000 a 20.000	Severa
8	Mayor de 20.000	Extremadamente severa

Tabla 4. Clasificación del índice de concentración de la precipitación (10).

Clase	Rango	Descripción
1	8,3 a 10	Uniforme
2	10 a 15	Moderadamente estacional
3	15 a 20	Estacional
4	20 a 50	Altamente estacional
5	50 a 100	Irregular

$$ICP = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t^2}$$

p_i = Precipitación mensual (mm)
 P_t = Precipitación anual (mm)

<2>

donde:

ICP = Índice de Concentración de la Precipitación

En teoría, si el valor del *ICP* está entre 8,3 y 10 la distribución de la precipitación es igual durante todos los meses del año, pero cuando el *ICP* alcanza un valor de 100,

indica que la precipitación se concentra durante un solo mes del año. El *ICP* se espacializó mediante el inverso de la distancia como método de interpolación debido a que los datos no presentaron alta variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según Jaramillo y Chaves (9), el área de estudio está ubicada dentro de un grupo a escala nacional de similar precipitación (grupo No.12), debido principalmente a dos criterios: Primero, la Latitud Norte (4° a 6°) influenciada por la zona de confluencia intertropical (ZCIT) y segundo, la fisiografía de la cuenca del río Cauca, que responde a efectos de tipo local condicionados por la topografía.

En la Tabla 5 se presentan los valores de precipitación anual y los índices de erosividad de Fournier Modificado y Factor R de la USLE, para cada una de las estaciones climáticas empleadas.

Los resultados obtenidos muestran una relación directa de la erosividad con la precipitación anual de las estaciones consideradas, dada la definición misma de los índices de erosividad, por tanto, los mayores índices de agresividad se registran en las zonas de mayor precipitación (máximo de $2.600\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ en Palestina y Chinchiná, y mínimo de $1.700\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ en Aguadas y Guática).

De acuerdo con la clasificación de Lobo *et al.* (10) (Tabla 2), todos los valores del *IFM* superaron el rango de 160, lo cual indica que la zona de estudio se clasifica como zona de lluvia con potencial erosivo muy alto. La estación que presentó el valor *IFM* más alto fue La Palma, ubicada en el municipio de Palestina, con un valor de 267,9 y el valor más bajo (173,9) se encontró en

la estación Ospirma ubicada en el municipio de Guática (Tabla 5).

Es importante anotar que el *IFM* o el factor R global anual, no explican completamente las diferencias en el efecto que la erosividad produce sobre las pérdidas de suelo en diferentes lugares, por lo cual es necesario analizar la distribución temporal de la erosividad de la lluvia a lo largo del año, para definir con ello las prácticas de manejo y conservación. Este aspecto ha sido tenido en cuenta por diferentes investigadores, fue así como Wischmeier y Smith (19) elaboraron, para gran parte de Estados Unidos, curvas de distribución anual y mensual de la erosividad, las cuales se han empleado junto con la información de uso y manejo, para obtener factores parciales en cada período de cultivo o vegetación natural.

Al tener en cuenta los anteriores aspectos, se encontró que el comportamiento del *IFM* responde al régimen de tipo bimodal, con dos períodos de lluvias agresivas en los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre, éstos representan el 52% de la erosividad total. Otros meses con lluvias de considerable agresividad fueron marzo y septiembre con 7 y 10%, respectivamente. Durante el mes de octubre se registró el mayor potencial erosivo, con una concentración del 14% de la erosividad anual.

Factor de erosividad de las lluvias. El análisis del índice de erosividad de Fournier mostró un coeficiente de correlación alto y positivo con respecto al índice EI_{30} promedio mensual (Factor R) estimado por Rivera (16) ($r= 0,84^{**}$) (Figura 1), lo cual indica la posibilidad de utilizar este índice (*IFM*) para definir la erosividad de la lluvia a un nivel comparativo.

Mediante el análisis de regresión lineal simple se obtuvo el siguiente modelo (ecuación <3>):

Tabla 5. Precipitación anual, Índice de Fournier Modificado (*IFM*) y factor de erosividad R de la USLE determinados para cada estación climática.

Municipio	Nombre de la estación	Precipitación anual (mm)	IFM promedio	Factor R (MJ.mm.ha ⁻¹)
Aguadas	Cuatro Esquinas	1.708	187,8	7.552,3
Aguadas	Guaymaral	1.867	196,1	7.869,6
Balboa	La Tribuna	2.288	232,3	9.260,0
Belén de Umbría	La Elvira	2.174	222,7	8.891,5
Chinchiná	Cenicafé	2.520	247,8	9.854,1
Chinchiná	La Divisa	2.687	260,0	10.324,8
Chinchiná	La Francia	2.549	260,5	10.341,4
Chinchiná	La Sierra	2.572	248,7	9.890,5
Chinchiná	Los Pomos	2.473	237,2	9.446,0
Chinchiná	Naranjal	2.695	261,7	10.388,8
Filadelfia	El Mirador	2.069	216,1	8.636,5
Filadelfia	La Julia	1.965	208,5	8.344,9
Guática	Ospirma	1.720	173,9	7.017,2
Manizales	Agronomía	1.867	198,3	7.953,1
Manizales	El Algarrobo	2.085	216,9	8.666,7
Manizales	Java	1.883	199,8	8.013,4
Manizales	La Juliana	1.874	197,7	7.931,2
Manizales	La Selva	2.292	234,9	9.361,2
Manizales	Las Colinas	2.040	211,1	8.443,7
Manizales	Santa Teresa	2.039	212,7	8.506,5
Manizales	Santa Teresita	2.371	238,3	9.488,2
Marmato	El Descanso	1.825	193,1	7.753,4
Neira	El Refugio	1.874	195,7	7.854,6
Pácora	La Cascada	2.003	204,6	8.195,7
Pácora	La Linda	2.158	225,4	8.994,3
Palestina	Granja Luker	2.225	224,3	8.952,4
Palestina	La Argentina	2.473	244,8	9.741,2
Palestina	La Palma	2.641	267,9	10.625,0
Palestina	Santa Ana	2.430	241,6	9.618,2
Palestina	Santágueda	2.222	224,0	8.942,1
Quinchía	El Diamante	1.968	207,5	8.307,5
Quinchía	La Oriental	2.136	226,7	9.046,4
Riosucio	La Argentina	2.417	248,8	9.894,0
Supía	Rafael Escobar	1.941	198,9	7.976,5

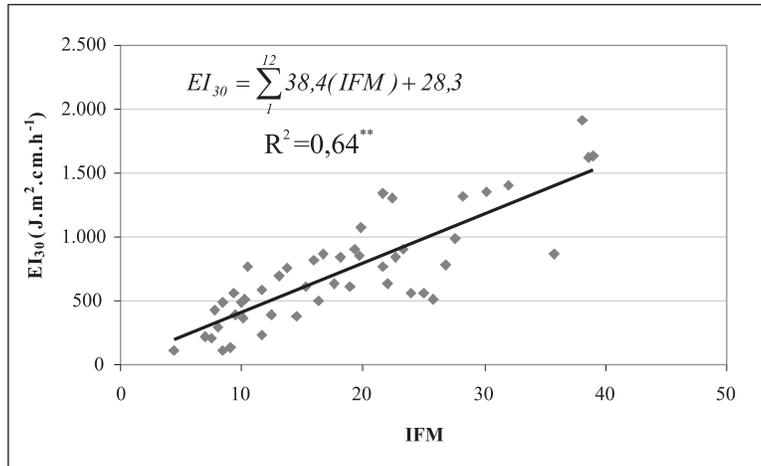


Figura 1.
Relación entre EI_{30} y el IFM para la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas.

$$EI_{30} = \sum_1^{12} 38,4(IFM) + 28,3$$

<3>

donde:

EI_{30} = Erosividad (Factor R).

IFM = Índice de Fournier Modificado (promedio mensual)

Los estudios llevados a cabo por Wischmeier y Smith (19) mostraron la baja correlación que existe entre la precipitación total y la erosividad de las lluvias, de allí la necesidad de definir estos índices para cada región y la importancia de generar modelos regionales para su determinación.

Análisis geoestadístico y espacialización del IFM y del Factor R. El análisis geoestadístico, de los índices de erosividad IFM y Factor R, mostró que el semivariograma isotrópico en ambos casos, presentó un mejor ajuste con modelos de tipo esférico, la distancia máxima fue de 60.000m y el intervalo lag de 10.000m; el modelo para el IFM presentó

la siguiente información: *Nugget* = 1; *Sill* = 628,7; *Rango* = 22.400m; *Peso de la variabilidad espacial* = 0,998; R^2 = 0,959 y 4 lag que contienen entre 79 y 120 pares de puntos (Figura 2) (14).

Para el Factor R la información obtenida fue: *Nugget* = 1.000; *Sill* = 1.428.000; *Rango* = 22.700m; *Peso de la variabilidad espacial* = 0,998; R^2 = 0,959 y 6 lag que contienen entre 61 y 120 pares de puntos (Figura 3).

La semivarianza en los modelos de IFM y Factor R se estabiliza a los 22.400 y 22.700m respectivamente, indicando que éstas son las distancias de influencia entre cada estación para obtener la estimación de las variables (6).

Tal como se mencionó anteriormente, el IFM para la zona estudiada está clasificado como región con lluvias de alto poder erosivo, por tal razón se propuso una clasificación de 8 intervalos de clase, con lo cual se diferencian las zonas con mayor potencial

Figura 2.
Semivariograma
Isotrópico para *IFM*.

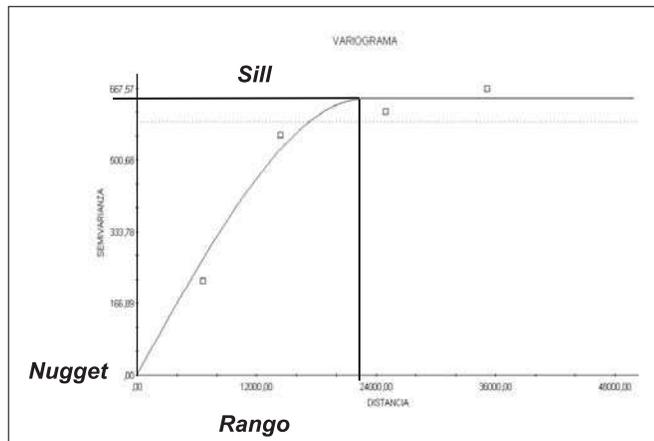


Figura 3.
Semivariograma
Isotrópico para el
Factor R.

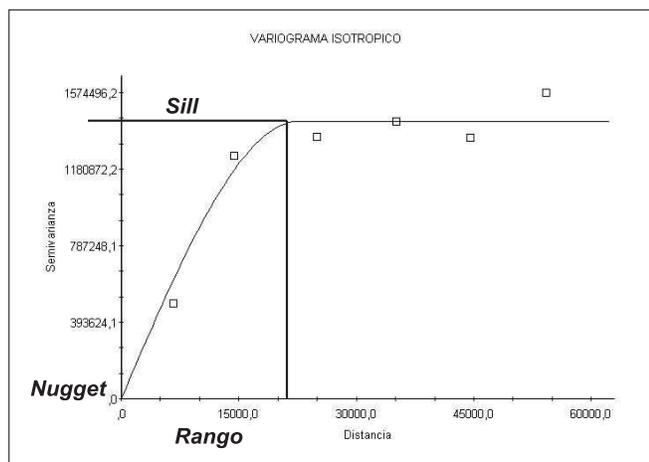


Tabla 6. Clasificación propuesta para el *IFM* en la zona cafetera central y occidental de Caldas.

Clase	Intervalo	Área (%)
1	Menor de 193,7	2,3
2	193,8 - 203,3	13,4
3	203,4 - 212,9	32,2
4	213,0 - 222,5	23,1
5	222,6 - 232,1	10,9
6	232,2 - 241,7	7,2
7	241,8 - 251,3	5,9
8	Mayor de 251,4	5,1

de agresividad de lluvias (Tabla 6). De esta forma, se registró que el 71% del área se encuentra en los primeros 4 intervalos, los valores más altos del *IFM* se concentran en el 5% de la zona, la cual es representada por la clase 8 (14).

Respecto a la distribución general de los valores de la erosividad en la zona, las Figuras 4 y 5 muestran espacialmente el *IFM* y el Factor R, y se observa que existe una evidente relación entre estos dos factores. Los valores mayores del *IFM* (clases 6, 7 y 8) se registraron en los municipios de Palestina y Chinchiná, y en parte de los municipios de Manizales y Riosucio; mientras que los más bajos se presentaron en los municipios de Aguadas, Marmato y en parte de los municipios de Neira, La Merced y Supía.

En cuanto al Factor R, se encontró que en el 5% del área estudiada la erosividad es muy alta (mayor a 10.000MJ.mm.ha⁻¹), y

se concentra en los municipios de Chinchiná y parte de Palestina, acorde con los valores máximos de precipitación (2.600mm.año⁻¹). En el 95% del área restante, la erosividad se calificó como alta (7.500 a 10.000MJ.mm.ha⁻¹), según la clasificación propuesta para la zona cafetera colombiana por Rivera y Gómez (17) (Tabla 3).

El *ICP* se representa espacialmente en la Figura 6, éste presenta un comportamiento similar al encontrado para el factor de erosividad. Al sur de la zona estudiada se registra una distribución moderadamente uniforme de las lluvias, correspondiente a parte de los municipios de Chinchiná, Palestina, Manizales y Villamaría, la cual representa el 5% del área estudiada; en el resto del área, la precipitación presentó una distribución uniforme, es decir que las variaciones encontradas en la erosividad

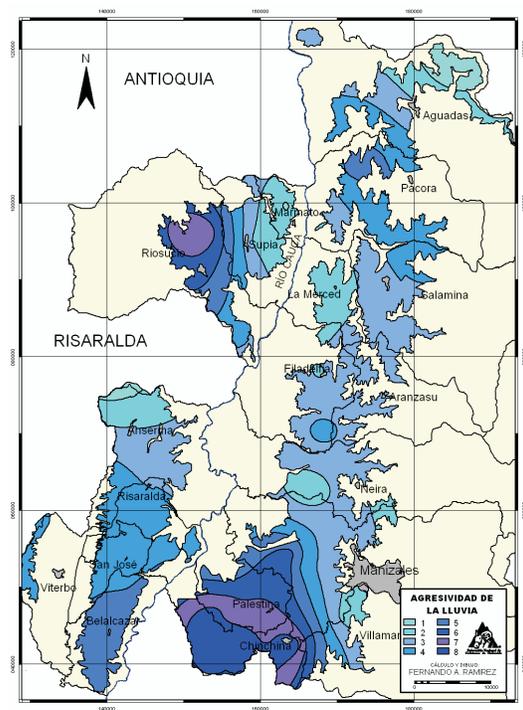


Figura 4. Mapa *IFM* en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas.

Figura 5.
 Mapa de Erosividad (Factor R) en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas.

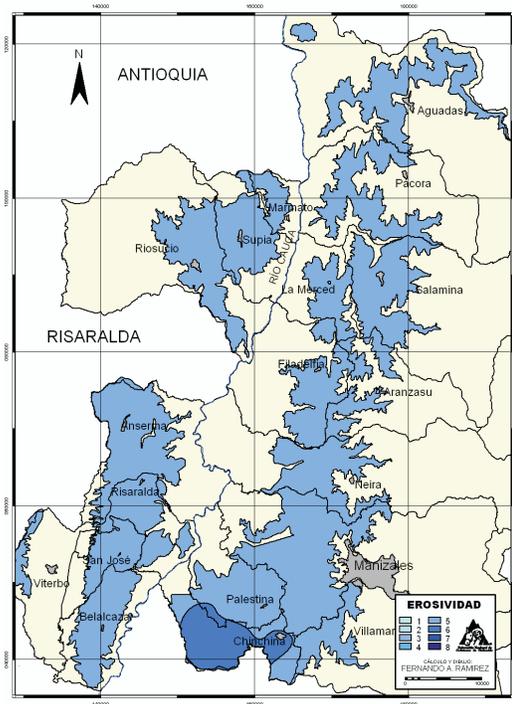
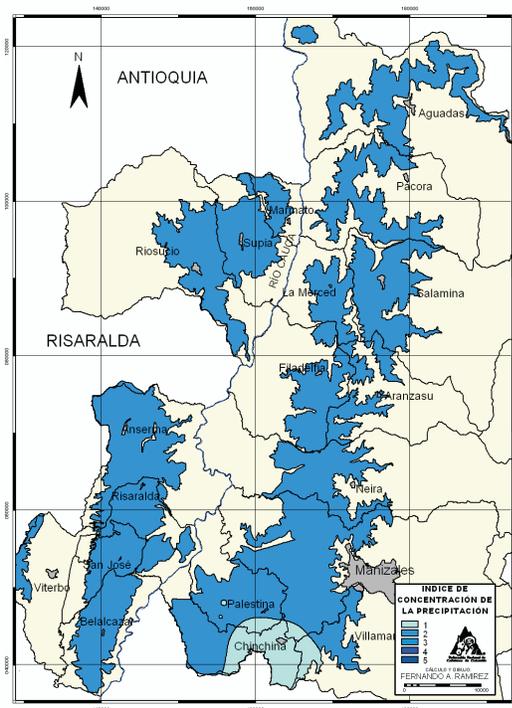


Figura 6.
 Mapa de ICP en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas.



pueden deberse a otras características de las lluvias como intensidad y duración.

En términos generales, las áreas donde se presentan los menores valores de erosividad coinciden con las áreas donde se evidencian mayores problemas de erosión y viceversa. Este comportamiento puede deberse al efecto de otros factores tales como la pendiente de las tierras, ya que en la zona norte del área de estudio donde la erosividad es menor, predominan las pendientes fuertes y escarpadas, mientras que en la zona sur, donde la erosividad es muy alta, predominan pendientes suaves y onduladas. Esto indica que si bien el factor R puede ser utilizado para definir la erosividad de las lluvias, su finalidad no es utilizarlo como un indicador de las pérdidas de suelo, y por tanto es necesario tener en cuenta los otros factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo para los estudios de predicción de la erosión hídrica.

Tal como lo plantearon Wischmeier y Smith (19), los estudios espaciales y temporales del factor de erosividad junto con la información de los otros factores de la USLE, permiten definir prácticas específicas para diferentes cultivos y estados de desarrollo de éstos; así para el cultivo de café es muy importante tener una cobertura densa en el suelo durante la etapa de establecimiento del cultivo y especialmente durante los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre, épocas donde se presenta la mayor erosividad para la zona de estudio. Así mismo, en los meses donde se presenta la menor erosividad de las lluvias (enero – febrero y julio – agosto) se pueden realizar prácticas de manejo como la renovación de coberturas vivas mediante cortes sin desnudar el suelo. La modificación de los sistemas de manejo de los suelos y de las coberturas, tanto rastreras como arbóreas, a un manejo integrado permite

disminuir los procesos erosivos ocasionados con las lluvias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimiento a los doctores Álvaro Jaramillo R., Vicente Baldión R., Alveiro Salamanca J., a la doctora Esther Cecilia Montoya R. y al personal de la Disciplina de Suelos de Cenicafé.

LITERATURA CITADA

1. ARNOLDUS H., M. J. An approximation of the rainfall factor in the universal soil loss equation. In : De Boodst, T.; Gabriels, D. (Eds.). Assessment of erosion. London, John Wiley Sons, 1980. p. 125-132.
2. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ COLOMBIA. Archivos climáticos Disciplina de Agroclimatología. Chinchiná, Cenicafé, 2005.
3. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del departamento de Caldas. Bogotá, FNC, 1982. 309 p.
4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. Estudio de suelos de Caldas (zona de la cuenca del río Cauca). Bogotá, FNC, 1998. 268 p.
5. GÓMEZ A., A. Sistema IUM para determinación del uso y manejo de los suelos de ladera. Cenicafé 26(2):1-8. 1975.
6. GIRALDO, H. R. Introducción a la geoestadística: Estadística aplicada a la ciencias ambientales. In: Simposio de Estadística. Bogotá, 2002. Memorias. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2002. p.32 –55.
7. HOYOS, N.; WAYLEN, P.R.; JARAMILLO R., A. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. Journal of Hydrology 314:177-191. 2005.
8. HUDSON, N. Conservación de suelos. Barcelona, Reverté, 1982. 335 p.

9. JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé* 51(2):102-113. 2000.
10. LOBO, D.; GABRIELS, D.; OVALLES, F.; SANTIBAÑEZ, F.; MOYANO, M.; AGUILERA, R.; PIZARRO, R.; SANGÜESA, C.; URRÁ, N. Guía metodológica para la elaboración el mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Online Internet. Disponible en: http://www.cazalac.org/documentos/Guia_Mapa_ZA_ALC.pdf (Consultado en 04/06/06).
11. MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3. ed. Malden, Blackwell Publishing, 2005. 304 p.
12. OLIVER, J.E. Monthly precipitation distribution: A comparative index. *Professional Geographer* 32(3):300 – 309. 1980.
13. ONSTAD, C. A.; FOSTER, G. R. Erosion modeling over watershed. *Transactions of the ASAE* 18(2):288-292. 1975.
14. RAMÍREZ O., F. Evaluación del riesgo por erosión potencial en la zona cafetera central del departamento de Caldas. Ibagué, Universidad del Tolima, 2005. 99 p. (Tesis: Ingeniero Forestal).
15. RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, Department of Agriculture, 1997. 404 p.
16. RIVERA P., H. 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, 1990. 310 p. (Tesis: Master Science).
17. RIVERA P., H.; GÓMEZ A., A. Erosividad de las lluvias de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío, Risaralda). *Cenicafé* 42(2):37-52. 1991.
18. SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá, FNC, 1962. 473 p.
19. WISCHMEIER, W.; SMITH, D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rock mountains. Guide for selection of practices soil and water conservation. cropland East of the Rocky Mountains. Washington, Department of Agriculture, 1965. 47 p. (Agriculture Handbook No. 282).