

Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Risaralda, Colombia

Erosivity of the rain in the coffee region of Risaralda, Colombia

Erosividade da chuva na região cafeeira do estado de Risaralda, Colômbia

¹Luz Adriana Lince Salazar,²Wadi Andrey Castaño Castaño,
³Andres Felipe Castro Quintero & ⁴Fabio Alexis Torres Angarita

¹Geóloga, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. ^{2,3}Ingeniero Agrónomo. ⁴Ingeniero Agrónomo, Especialista en Manejo Sostenible del Sistema Suelo-Agua-Planta En El Trópico

^{1,2,3,4}Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFE. Manizales. Colombia.

¹luz.lince@cafedecolombia.com, ²wadi.castano@cafedecolombia.com,
³andres.castro@cafedecolombia.com, ⁴fabio.torres@cafedecolombia.com

Resumen

La erosión hídrica es considerada como el mayor proceso de pérdida de suelo cultivable en el mundo, y se estima que dicha pérdida es de 10 millones ha por año. Con el objetivo de determinar el grado de erosividad y la distribución de las lluvias en la región cafetera del departamento de Risaralda, Colombia, se estudiaron los datos de precipitación diaria de los registros climáticos de 18 estaciones de Cenicafé – FNC, en el período de 1997 a 2011. Se calculó el índice de erosividad anual histórico (R), mediante un modelo validado para la región cafetera central de Colombia, el cual emplea el índice modificado de Fournier (IMF); se calculó la variabilidad temporal de la distribución de las lluvias mediante el índice de concentración de las precipitaciones interanual (ICP). El 93% de las observaciones presentaron IMF mayor a 160, indicando que la región estuvo expuesta a una muy alta erosividad; los valores anuales de R se encontraron entre 6417 y 11762 MJ.mm.ha⁻¹, correspondientes a erosividad moderada a muy alta, y el ICP indicó que la distribución de las precipitaciones es de uniforme a moderadamente estacional,

con valores entre 9,7 y 10,3. La región cafetera del departamento de Risaralda entre los años 1999 y 2011 se vio afectada por una fuerte erosividad, con incrementos en los meses de abril – mayo y octubre – noviembre.

Palabras clave: Índice de Fournier, Índice modificado de Fournier, Índice de concentración de las precipitaciones, I_{30} .

Abstract

The water erosion is considered as the biggest process of loss of cultivable land in the world and it is estimated that the loss is 10 million ha per year. In order to determine the climatic aggressiveness grade and the rain distribution in the coffee region of Risaralda, Colombia, a study using historic data of daily precipitation recorded in 18 stations at Cenicafé - FNC from 1997 to 2011 was carried out. The index of annual rainfall erosivity (R) was estimated using a validated model for the Central Coffee Region of Colombia, which uses the modified Fournier index

(MFI). The temporary variability of rainfall distribution was also calculated for every year through the index of precipitation concentration (IPC). 93% of the observations presented MFI higher to 160, indicating that the region was exposed to a very high erosivity. The annual values of R were between 6417 and 11762 MJ.mm.ha⁻¹, corresponding to moderate, high and very high erosivity. ICP indicated that the rainfall distribution is uniform to moderately seasonal, with values between 9,7 and 10,3. The coffee region of Risaralda between 1999 and 2011 was affected by a strong climatic aggressiveness, with increases in April to May and October to November.

Keywords: Fournier index, modified Fournier index, precipitation concentration index, I_{30} .

Resumo

A erosão hídrica considera-se o maior processo de perda de solo cultivável no mundo, e estima-se que a perda é de 10 milhões de hectares por ano. Com o objetivo de determinar o grau de erosividade e distribuição das chuvas na região cafeeira de Risaralda,

Colômbia, foram estudados os dados de precipitação diária dos registros climáticos de 18 estações de Cenicafé-FNC, no período de 1997 a 2011. Foi calculado o índice de erosividade anual histórico (R), usando um modelo que foi validado para a região cafeeira central da Colômbia, ele usa o índice de Fournier modificado (IFM); foi calculada a variabilidade temporal da distribuição das chuvas usando-se o índice de concentração das precipitações interanual (ICP). O 93% das observações apresentaram IFM maior a 160, indicando que a região foi exposta a alta erosividade; os valores anuais de R estiveram entre 6417 e 11762 MJ.mm.ha⁻¹, correspondendo a erosividade moderada para muito alta e o ICP indicou que a distribuição das precipitações é de uniforme a moderadamente estacional, com valores entre 9,7 y 10,3. A região de Risaralda entre 1999 e 2011 foi afetada por uma forte erosividade, incrementando nos meses de abril – maio e outubro – novembro.

Palavras-chave: Índice de Fournier, Índice de Fournier modificado, Índice de concentração das precipitações, I_{30} .

Introducción

La erosión hídrica es considerada como el mayor proceso de pérdida de suelo cultivable en el mundo y se estima que es de 10 millones ha por año (Pimentel, 2006), que según Mabit & Bernard (2007) es la forma más generalizada y sería de degradación del suelo.

La erosividad se cuantifica mediante modelos de simulación matemática que se alimentan de datos de precipitación en series de segundos, minutos, días e incluso hasta meses, y pueden arrojar resultados con errores que van desde el 0,55 % hasta el 68,0 % (Xie *et al.*, 2016). Uno de los primeros estudios enfocados en la cuantificación de la erosividad fue desarrollado por Wischmeier (1959), el cual demostró la importancia de la energía cinética de la gota de lluvia en la degradación del suelo y su relación con el índice de erosividad – I_{30} , que a su vez se refieren a la erosividad de la lluvia (R); posteriormente, se destacan las

investigaciones alrededor del factor R propuestos por Wischmeier & Smith (1978) en Los Estados Unidos; del índice de Fournier (IF) propuesto por Fournier (1960), desarrollado para la costa oeste de África; del índice modificado de Fournier (IMF), planteado por Arnoldus (1977); la propuestas de correlaciones entre el IFM y el factor R, para regiones con datos deficientes, presentada por Renard & Freimund (1994); y por último, el del índice de concentración de las precipitaciones (ICP) desarrollado por De Luis *et al.* (1997) y Oliver (1980).

Con base en los anteriores índices, se han reportado estudios de erosividad de la lluvia y su distribución para África (Mannaerts & Gabriels, 2000; Vrieling, Sterk & de Jong, 2010), Europa (Panagos *et al.*, 2015), Los Estados Unidos (Wang *et al.*, 2002; Nearing *et al.*, 2015; Hoomehr, Schwartz & Yoder, 2016), Colombia

(Hoyos *et al.*, 2005), Perú (Romero *et al.*, 2007), Brasil (Oliveira *et al.*, 2012; Mello *et al.*, 2013), Italia (Capolongo *et al.*, 2008), España (Angulo-Martínez & Beguería, 2009), China (Zhang *et al.*, 2010), Corea (Lee & Heo, 2011), Chile (Bonilla & Vidal, 2011), China (Xie *et al.*, 2016; Lai *et al.*, 2016) y Grecia (Panagos *et al.*, 2016).

Para la región cafetera central de Colombia, Rivera (1990) propuso un modelo entre el IMF y el I_{30} , para los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, aplicado por Ramírez, Hincapié, Sadeghian & Pérez (2007) para la región cafetera de Caldas. Echeverri & Obando (2010) calcularon la erosividad y la variación temporal de las lluvias, mediante los índices de Fournier Anual (IFA), Modificado de Fournier (IMF) y Concentración de las Precipitaciones (ICP) para la región centro – sur del mismo departamento, al igual que Lince & Castro (2015) para la región cafetera del departamento del Quindío. En el estado del arte no se hallaron estudios de erosividad en la zona cafetera del departamento de Risaralda, por tal motivo se realizó un estudio cuyo objetivo fuera determinar la erosividad de dicha región.

Materiales y métodos

El estudio se realizó para la región cafetera del departamento de Risaralda, ubicada entre 05° 32' – 04° 39' N y 75° 23' – 76° 18' W, en el flanco occidental de la cordillera central de Colombia. Políticamente el departamento está dividido en 14 municipios, todos con potencial cafetero, ubicados en los ecotopos 102A, 106B, 107B, 108B, 206A, 207A y 209A. La lluvia anual histórica va desde 944 mm hasta 4173 mm en un régimen bimodal, con picos en los meses de abril y octubre.

La información de lluvia se tomó de 18 estaciones de la Red Climática Cafetera – FNC (Figura 1), de las cuales se emplearon los registros de precipitación diaria de los años 1997 a 2011. Para algunas estaciones y en determinados años, los registros estaban incompletos, lo que generó series entre 15 y 8 años (Tabla 1).

Tabla 1. Localización de las estaciones climáticas de la Red Climática Cafetera – FNC y períodos empleados.

Estación climática	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)	Altura	Históricos	
				(msnm)	Años	Periodos
La Tribuna	Balboa	4° 57'	75° 58'	1580	15	1997-2011
La Elvira	Belén Umbría	5° 12'	75° 52'	1540	15	1997-2011
Los Cábmulos	Belén Umbría	5° 9'	75° 53'	1400	12	1997-2002, 2006-2011
Buenos Aires	Guática	5° 18'	75° 49'	1814	15	1997-2011
Ospirma	Guática	5° 20'	75° 49'	1661	15	1997-2011
La Palmera	Marsella	05° 00'	75° 45'	1450	12	1999-2008, 2010-2011
El Barranco	Mistrató	5° 20'	75° 53'	1580	12	1997-2001, 2003-2009
Combia	Pereira	4° 51'	75° 47'	1173	9	1997-1999, 2003-2007, 2009
El Cedral	Pereira	4° 42'	75° 32'	2120	15	1997-2011
La Catalina	Pereira	4° 45'	75° 44'	1321	15	1997-2011
La Playa	Pereira	4° 50'	76° 46°	1290	13	1997-1999, 2001-2011
La Renta	Pereira	4° 47'	75° 47'	1194	15	1997-2011
Los Cábmulos	Pereira	5° 9'	75° 53'	1189	12	1998-1999, 2001-2010
Planta de Tto.	Pereira	4° 48'	75° 40'	1487	14	1997-2009, 2011
El Diamante	Quinchía	5° 19'	75° 42'	1150	11	1997-1999, 2002, 2004-2006
La Oriental	Quinchía	5° 22'	75° 43'	1730	14	1997-2010
Los Naranjos	Santuario	5° 03'	76° 00'	1580	8	1997-1998, 2001, 2007-2011
El Jazmín	Sta. Rosa de C.	4° 55'	75° 38'	1635	15	1997-2011

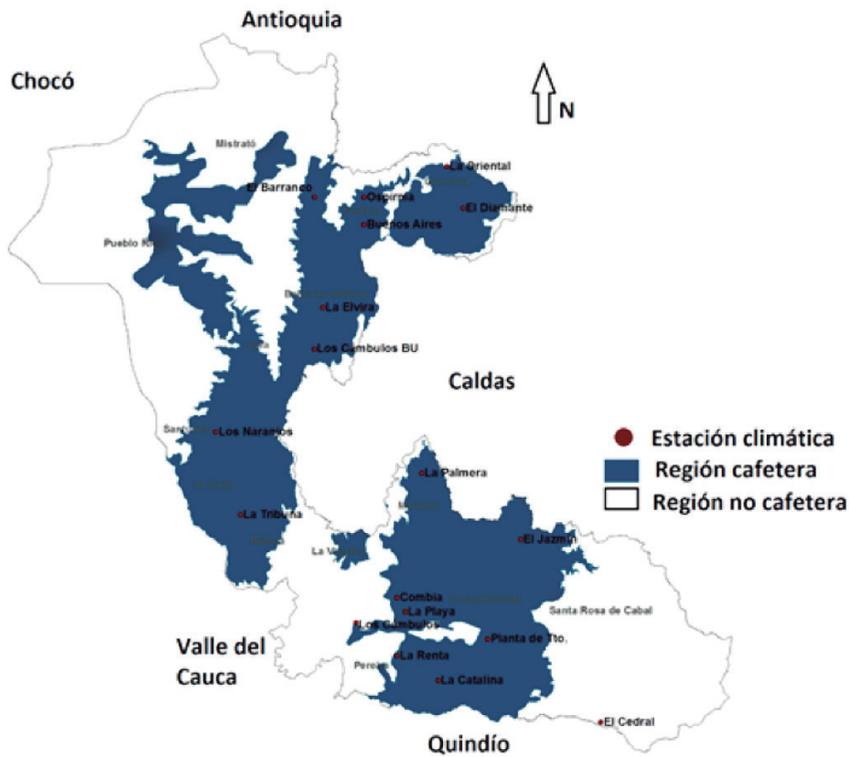


Figura 1. Ubicación del área de estudio y las estaciones de la red climática cafetera empleadas, en el departamento de Risaralda.

El Índice de erosividad de la lluvia R anual histórico, se calculó mediante la ecuación 1, correspondiente al modelo propuesto por Rivera (1990) para las condiciones pluviométricas de la región cafetera central de Colombia (Caldas, Quindío y Risaralda) y se clasificó según la Tabla 2 propuesta por Rivera & Gómez (1991).

De la ecuación 1, el Índice Modificado de Fournier (IMF) se calculó para cada año con la ecuación 2, El IMF histórico para cada estación se obtuvo del promedio anual, valor que se empleó en la ecuación 1. El IMF se clasificó según la Tabla 3 propuesta por Renard & Freimud (1994).

El Índice de concentración de las precipitaciones (ICP) interanual para las 18 estaciones se midió con la ecuación 3. Su criterio de clasificación se presenta en la Tabla 4, propuesta por Oliver (1980).

$$IE_{30} = 12138,4 IMF + 28,3 \quad (1) \text{ (Renard y Freimud, 1994)}$$

Donde

IE_{30} = índice de erosividad
IMF = Índice modificado de Fournier

$$IMF_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_{ij}}{P_j} \right)^2 \quad (2) \text{ (Renard & Freimud, 1994)}$$

Donde

IMF_j = índice modificado de Fournier en el año j
 P_{ij} = precipitación del mes i , en el año j
 P_j = precipitación total del año j

$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{12} P_i \right)^2} \quad (3) \text{ (Oliver (1980))}$$

Donde

ICP = índice de concentración de las precipitaciones
 P_{ij} = precipitación del mes i , en el año j

Tabla 2. Clasificación de la erosividad anual de las lluvias

Clase	Erosividad R (MJ. mm.ha-1)	Clasificación
1	<1000	Natural
2	1000 – 5000	Muy baja
3	2500 – 5000	Baja
4	5000 – 7500	Moderada
5	7500 – 10000	Alta
6	10000 – 15000	Muy Alta
7	15000 – 20000	Severa
8	>20000	Extremadamente severa

Fuente: Rivera & Gómez, 1991.

Tabla 3. Clasificación del índice modificado de Fournier - IFM

Clases	Rango	Clasificación
1	< 60	Muy baja
2	60 – 90	Baja
3	90 – 120	Moderada
4	120 – 160	Alta
5	> 160	Muy alta

Fuente: Apaydin et al., 2006.

Tabla 4. Clasificación del índice de concentración de las precipitaciones

Rango	Clasificación
0,8 – 10	Uniforme
10 – 15	Moderadamente estacional
15 – 20	Estacional
20 – 50	Altamente estacional
50 – 100	Irregular

Fuente: Oliver, 1980.

La espacialización del factor R, se logró por el método de autocorrelación espacial del peso inverso de la distancia (IDW), en el que se utilizaron los 18 registros de erosividad. El software empleado fue ArcGis 10.2 extensión geostatistical analyst (2013). No se empleó un método geoestadístico, debido a que los pares de datos fueron inferiores a 32 que es el mínimo recomendado para dicho proceso (Goovaerts, 2000).

Resultados y discusión

Índice Modificado de **Fournier (IMF)**. De los 238 promedios anuales analizados, el 93% presentaron índice de Fournier mayor a 160 (Figura 2), lo cual indica que desde el año 1999 hasta el 2011 la región cafetera del departamento de Risaralda estuvo expuesta a una muy alta agresividad climática por la lluvia.

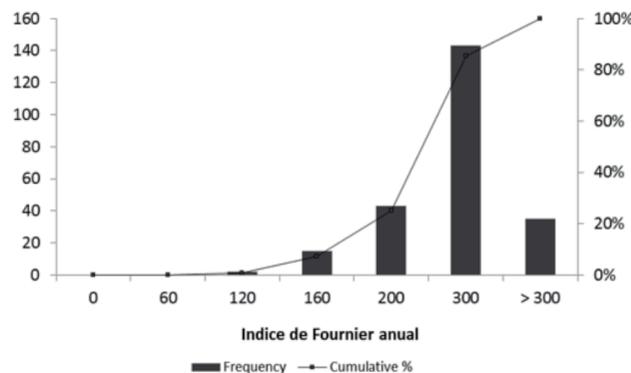


Figura 2. Histograma de distribución de frecuencia del índice anual de Fournier para 18 estaciones climáticas en los años 1999 a 2011.

Los valores de los promedios del índice de erosividad de la lluvia "IMF" estuvieron entre 158,27 en la estación El Barranco en el municipio de Mistrató ubicado al occidente del departamento, y 297,48 en la estación Los Naranjos en el municipio de Santuario, ubicado en el centro del departamento (Tabla 5). Dichos valores, según la clasificación de Apaydin, Erpul, Bayramin & Gabriels (2006) corresponden a una clasificación alta (120 – 160) y muy alta (>160) en cuanto a la fuerza de degradación se refiere.

Los valores de IFM indican que los suelos de la zona se ven afectados por una fuerte agresividad climática con la lluvia como agente fuertemente erosivo, lo cual

concuera con lo reportado por Rivera (1990), Hoyos, Waylen & Jaramillo (2005), Ramírez *et al.* (2007) y Lince & Castro (2015) para los Andes colombianos.

Tabla 5. Valores promedio de Índice Modificado de Fournier (IFM), Erosividad anual (R), Índice de concentración de las precipitaciones (ICP) y sus clasificaciones para cada una de las estaciones climáticas.

Estación	Municipio	IFM		Erosividad anual		ICP	
		Promedio	Clasificación	Promedio (MJ.mm.ha ⁻¹)	Clasificación	Promedio (%)	Clasificación*
Buenos Aires	Guática	180,35	Muy alto	7264,89	Moderada	9,92	U
Combia	Pereira	255,08	Muy alto	10136,05	Muy alta	10,39	M.E*
El Barranco	Mistrató	158,27	Alto	6417,86	Moderada	9,81	U
El Cedral	Pereira	289,34	Muy alto	11450,16	Muy alta	10,73	M.E*
El Diamante	Quinchía	229,06	Muy alto	9135,34	Alta	10,24	M.E*
El Jazmín	Sta. Rosa de C.	283,07	Muy alto	11209,43	Muy alta	9,70	U
La Catalina	Pereira	252,20	Muy alto	10023,71	Muy alta	10,23	M.E*
La Elvira	Belén Umbría	262,96	Muy alto	10437,13	Muy alta	10,30	M.E*
La Oriental	Quinchía	231,36	Muy alto	9223,85	Alta	9,91	U
La Palmera	Marsella	283,82	Muy alto	11238,38	Muy alta	9,89	U
La Playa	Pereira	249,17	Muy alto	9907,87	Alta	10,93	M.E*
La Renta	Pereira	219,96	Muy alto	8785,96	Alta	10,33	M.E*
La Tribuna	Balboa	274,56	Muy alto	10882,74	Muy alta	10,20	U
Los Cámbulos	Pereira	217,91	Muy alto	8707,40	Alta	10,37	U
Los Cámbulos BU	Belén Umbría	262,64	Muy alto	10425,07	Muy alta	10,48	M.E*
Los Naranjos	Santuario	297,48	Muy alto	11762,88	Muy alta	10,74	M.E*
Ospirma	Guática	174,38	Muy alto	7034,87	Moderada	9,76	U
Planta de Tto.	Pereira	282,99	Muy alto	11206,53	Muy alta	9,90	U

* U: uniforme; M.E: Moderadamente estacional

Erosividad (R). De manera general, la zona de estudio presentó valores anuales de R entre 6417 y 11762 MJ.mm.ha⁻¹, correspondientes, según la clasificación de Rivera & Gómez (1991), a niveles de erosividad moderada a muy alta, respectivamente. Las estaciones El Barranco, Ospirna y Buenos Aires, ubicadas en la región norte del departamento (Figura 3) presentaron valores de R moderados (5000 – 7500 MJ.mm.ha⁻¹); las estaciones La Renta, La Playa y Los Cábmulos ubicadas al sur, al igual que El Diamante y La Oriental ubicadas al norte tuvieron valores de R altos (7500 – 10000 MJ.mm.ha⁻¹), y las 10 estaciones restantes (Tabla 5) exhibieron valores de R muy altos (10000 -15000 MJ.mm.ha⁻¹).

El análisis mensual de erosividad (Figura 4) indica que los meses de abril – mayo y octubre - noviembre son las épocas del año en las que el suelo se ve más expuesto a la agresividad climática y, por ende, las pérdidas por erosión hídrica se pueden ver incrementadas.

Los resultados descritos están acordes con los de otras investigaciones realizadas en la región cafetera central de Colombia, entre ellos Ramírez *et al.*, (2007) y Echeverri & Obando (2010) para el departamento de Caldas, y Lince & Castro (2015) para el departamento del Quindío y se explican en que la región se encuentra ubicada en la zona de convergencia intertropical.

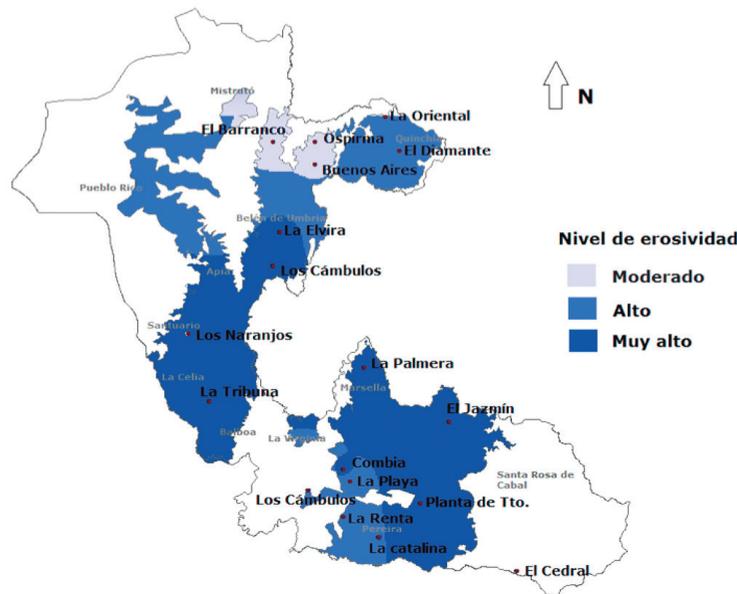


Figura 3. Mapa de distribución espacial de la erosividad anual en la región cafetera del departamento de Risaralda.

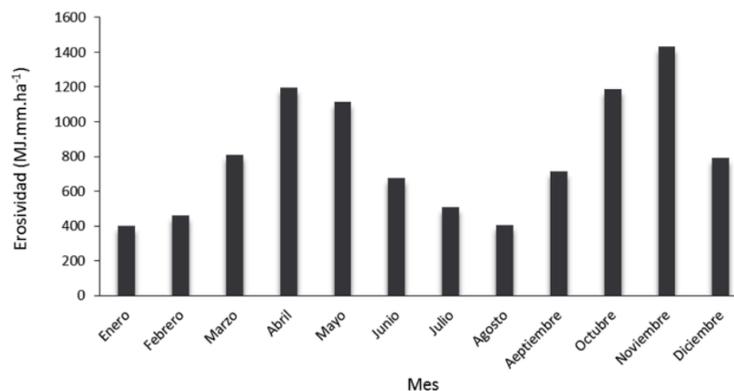


Figura 4. Distribución mensual de la erosividad en la región cafetera del departamento de Risaralda en los años 1997 - 2011.

Índice de concentración de las precipitaciones (ICP). Los índices calculados presentaron valores mínimo y máximo de 9,7 y 10,3 respectivamente, correspondientes a las clases uniforme y moderadamente estacional según Oliver (1980). Pese a que para la zona de estudio se presentaron dos clases, ambas están muy cercanas al límite entre uniforme y moderadamente estacional, por lo cual se puede asumir que la zona presentó un índice uniforme.

El ICP calculado concuerda con los valores reportados por Echeverri & Obando (2010) para el departamento de Caldas y con los de Lince & Castro (2015) para el departamento de Quindío.

Conclusiones

Para el periodo evaluado la erosividad, tanto con IFM como R, sugiere que la región cafetera del departamento de Risaralda generalmente se ve afectada por una fuerte agresividad climática por parte de la lluvia, la cual aumenta en los meses de abril – mayo, y octubre – noviembre.

La erosividad de la lluvia presentó una regionalización, con predominio de moderada y alta en la zona norte, y muy alta en la zona centro – sur.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la ONG Solidaridad Andes, especialmente al Ing. Carlos Isaza por el apoyo en la investigación, al Comité Departamental de Cafeteros de Risaralda, y a las disciplinas de suelos y agroclimatología de Cenicafé.

Literatura citada

1. Angulo-Martínez, M. & Beguería, S. (2009). Estimating rainfall erosivity from daily precipitation records: A comparison among methods using data from the Ebro Basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 379(1), 111-121.
2. Apaydin, H., Erpul, G., Bayramin, I. & Gabriels, D. (2006). Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey. *Journal of Hydrology*, 328(3), 726-732.
3. Arnoldus, H.M.J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin* (FAO).
4. Bonilla, C.A. & Vidal, K.L. (2011). Rainfall erosivity in central Chile. *Journal of Hydrology*, 410(1), 126-133.
5. Capolongo, D., Diodato, N., Mannaerts, C.M., Piccarreta, M. & Strobl, R.O. (2008). Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). *Journal of Hydrology*, 356(1), 119-130.
6. De Luis M, González-Hidalgo J.C., Raventós J., Sánchez J.R. & Cortina, J. (1997). Distribución espacial de la concentración y agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuaternario y Geomorfología*, 11:33-44
7. Echeverri, L. & Obando, F. (2010). Erosividad de las Lluvias en la Región Centro-Sur del Departamento de Caldas, Colombia. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* 63(1): 5307-5318.
8. Fournier, F. (1960). Climat et érosion; la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. (First edition) Presses Universitaires de France, Paris.
9. Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of hydrology*, 228(1), 113-129.
10. Hoyos, N., Waylen, P.R. & Jaramillo, Á. (2005). Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of hydrology*, 314(1), 177-191.
11. Hoomehr, S., Schwartz, J.S. & Yoder, D.C. (2016). Potential changes in rainfall erosivity under GCM climate change scenarios for the southern Appalachian region, USA. *Catena*, 136, 141-151.
12. Lai, C., Chen, X., Wang, Z., Wu, X., Zhao, S., Wu, X. & Bai, W. (2016). Spatio-temporal variation in rainfall erosivity during 1960–2012 in the Pearl River Basin, China. *CATENA*, 137, 382-391.
13. Lee, J.H. & Heo, J.H. (2011). Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, 409(1), 30-48.
14. Lince, L.A. & Castro, A.F. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Revista Cenicafé* 66(1): 25-31.
15. Mabit, L. & Bernard, C. (2007). Assessment of spatial distribution of fallout radionuclides through geostatistics concept. *Journal of Environmental Radioactivity*, 97(2), 206-219.
16. Mannaerts, C.M. & Gabriels, D. (2000). Rainfall erosivity in Cape Verde. *Soil and Tillage Research*, 55(3), 207-212.
17. Mello, C.D., Viola, M.R., Beskow, S. & Norton, L.D. (2013). Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. *Geoderma*, 202, 88-102.

18. Nearing, M.A., Unkrich, C.L., Goodrich, D.C., Nichols, M.H. & Keefer, T.O. (2015). Temporal and elevation trends in rainfall erosivity on a 149km² watershed in a semi-arid region of the American Southwest. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 77-8
19. Oliveira, P.T., Rodrigues, D.B., Sobrinho, T.A., Carvalho, D.F.D. & Panachuki, E. (2012). Spatial variability of the rainfall erosive potential in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Engenharia Agrícola*, 32(1), 69-79.
20. Oliver, J.E. (1980). Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer*, 32(3), 300-309.
21. Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., ... & Aalto, J. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511, 801-814.
22. Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P. & Meusburger, K. (2016). Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density in Greece. *Catena*, 137, 161-172.
23. Pimentel, D. (2006). Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment, development and sustainability*, 8(1), 119-137.
24. Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeghian, S. & Pérez, U. (2007). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé (Colombia)*, 58(1):40-52.
25. Renard, K.G. & Freimud, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157, 287 - 306.
26. 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 (Colombia), (Tesis de maestría) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 310 p.
27. Rivera, J.H. & Gómez, A.A. (1991). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafé*, 42(2), 37-52.
28. Romero, C.C., Baigorria, G.A. & Stroosnijder, L. (2007). Changes of erosive rainfall for El Niño and La Niña years in the northern Andean highlands of Peru. *Climatic Change*, 85(3-4), 343-356.
29. Vrieling, A., Sterk, G. & de Jong, S.M. (2010). Satellite-based estimation of rainfall erosivity for Africa. *Journal of hydrology*, 395(3), 235-241.
30. Wang, G., Gertner, G., Singh, V., Shinkareva, S., Parysow, P. & Anderson, A. (2002). Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall-runoff erosivity "R" factor. *Ecological Modelling*, 153(1), 143-155.
31. Wischmeier, W.H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 23(3), 246-249.
32. Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agric. Hbk 537. U.S.D.A.-Sci. and Educ. Admin., Washington, DC.
33. Xie, Y., Yin, S.Q., Liu, B.Y., Nearing, M.A. & Zhao, Y. (2016). Models for estimating daily rainfall erosivity in China. *Journal of Hydrology*, 535, 547-558.
34. Zhang, Y.G., Nearing, M.A., Zhang, X.C., Xie, Y. & Wei, H. (2010). Projected rainfall erosivity changes under climate change from multimodel and multiscenario projections in Northeast China. *Journal of hydrology*, 384(1), 97-106.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 16 de junio de 2015
Aceptado: 08 de julio de 2015