

PROPUESTA DE UN «ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD» PARA EL ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA «ESTRUCTURA TEMPORAL DE LA LLUVIA» SOBRE LA ESCORRENTÍA EN ZONAS SEMIÁRIDAS

Antonio Ceballos Barbancho
Pedro Fernández-Toledo
Dionisia Gómez Amelia

RESUMEN

En medios áridos y semiáridos la precipitación total y la intensidad de la misma son los factores que explican en mayor grado la generación y producción de escorrentía. Sin embargo, se observa que en determinados casos también es necesario el análisis de la estructura temporal del evento de lluvia para comprender la respuesta de la escorrentía. En este trabajo se presenta un índice que considera la continuidad o discontinuidad de la lluvia y la variabilidad de las intensidades durante el evento.

ABSTRACT

In arid and semi-arid environments the total amount of precipitation and rainfall intensity are the main factors explaining hillslope runoff generation and production. However, the inner structure of the individual rainfall event is an important factor for understanding the hydrological response. In this study an index is presented, which describes the continuity or discontinuity and the variability of rainfall intensity during the event.

1. Introducción

En el estudio de los procesos hidrológicos que operan en las vertientes en ambientes áridos y semiáridos, los factores que mejor explican la génesis y cantidad de escorrentía superficial son la precipitación total del evento y la intensidad de la misma (Yair and Lavee, 1985). No obstante, en muchos casos se produce una falta de ajuste en la anterior relación debido a las características de la denominada «estructura temporal» del evento (Aparicio Mijares, 1992).

Según se distribuyan las intensidades máximas a lo largo del evento, su efecto sobre la generación y producción de escorrentía variará de forma notable: si se concentran al

principio del evento, en condiciones de suelo seco, probablemente se genere menos escorrentía que si se concentran al final del mismo, una vez infiltrada gran parte del agua y humedecido el suelo (Ceballos, 1996). El intervalo de tiempo que transcurre entre las diferentes fases de precipitación de un evento de lluvia es fundamental, ya que determina si el suelo tiene posibilidad de drenar y secarse (Yair and Enzel, 1987). Algunos autores llegan a afirmar que la «estructura temporal» del evento es el principal factor que explica la generación y cantidad de escorrentía superficial (Ollesch and Seuffert, 1995).

No existe una covarianza unidireccional entre cantidad e intensidad de lluvia, ya que altas intensidades se combinan con bajas cantidades y viceversa (Seuffert et al., 1988). Es obvio, que la gran heterogeneidad de las precipitaciones juega un papel muy importante en la generación y producción de escorrentía, por lo cual una serie de estudios se han planteado elaborar un índice que describa y cuantifique este parámetro (Ollesch and Seuffert, 1995). Los resultados calculados con la aplicación de un «índice de homogeneidad» pueden que mejoren el porcentaje de explicación que se obtiene en la regresión múltiple entre precipitación total e intensidad como variables independientes y escorrentía como variable dependiente.

2. Localización de la zona de estudio

La cuenca vertiente de Guadalperalón se sitúa 22 km. al noreste de la ciudad de Cáceres, dentro del término municipal de Trujillo y pertenece a la cuenca del río Magasca, incluida a su vez y de forma progresiva, en la cuenca de los ríos Tamuja, Almonte y Tajo (figura 1). Tiene una superficie de 35,4 hectáreas y presenta forma alargada con orientación meridiana.

Se halla integrada en la mitad oriental de la unidad geomorfológica de la Penillanura Cacerña (superficie de erosión finimiocena) (Gómez Amelia, 1985).

Los suelos se han desarrollado sobre un sustrato pizarroso (Complejo Esquisto Grauváquico) y se encuadran en el grupo de los leptosoles y regosoles según sus características topográficas y/o fisiográficas. La profundidad de los mismos oscila entre los 0 y 120 cm, su porosidad y densidad son de un 50,5% y 1,28 gr/cm³ respectivamente, la textura es principalmente franca, la estructura granular y los valores de materia orgánica bajos.

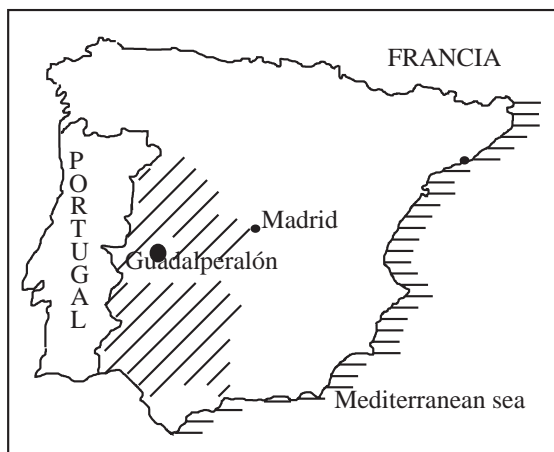


FIGURA 1. Localización de la zona de estudio (Guadalperalón) y, en rayado, extensión de las dehesas del suroeste peninsular.

El clima es mediterráneo, con influencias tanto oceánicas como continentales, siendo los inviernos suaves y los veranos calurosos (la temperatura media anual es de 16°C). La precipitación media anual es de 511 mm distribuidos en 85 días de lluvia. La variabilidad anual e interanual de las precipitaciones es alta, predominando el número de años con valores inferiores a los medios. Aplicando el *índice de clasificación de zonas áridas (Ih)* de la UNESCO (1979), se obtiene un valor de 0,60 que define nuestra zona de estudio como semiárida según la interpretación corregida que del mismo hace Font Tullot (1983).

La vegetación potencial pertenece a la serie climatofílica mesomediterránea luso-extremadurensis de la encina (Ladero Álvarez, 1987). En Guadalperalón hay zonas arboladas de *Quercus ilex var. ballota*, con densidades de 15 a 40 pies por hectárea y zonas sin arbolado, donde domina *Lavandula stoechas*. Los fondos de valle de la cuenca rellenos de sedimento se hallan cubiertos por plantas herbáceas. El aprovechamiento principal de la dehesa de Guadalperalón es el ganadero, con una cabaña actual de 2,6 ovejas/ha y 0,3 vacas/ha.

3. Metodología

Para la realización del presente trabajo se ha utilizado una serie de 32 eventos monitorizados en los años hidrológicos 1994-95 y 1995-96.

La precipitación es registrada con un pluviómetro tipo balancín modelo ARG100 (fabricado por Omnidata International LTD), con 0,2 mm de resolución, conectado a un registrador automático (fabricado por UNIDATA) que toma datos en intervalos de 5 minutos.

La escorrentía de las vertientes se cuantifica por medio de 17 parcelas abiertas (trampas tipo Gerlach de 0,5 m de ancho) distribuidas en 5 unidades caracterizadas por su relación suelo-vegetación (Schnabel, 1996). El total de escorrentía es cuantificado inmediatamente después de cada suceso de precipitación con una probeta de 1 litro de capacidad. En el presente trabajo se ha utilizado como valor de escorrentía la media aritmética de las 17 parcelas.

4. Resultados y discusión

Las diferencias existentes en la «estructura temporal» de sucesos de lluvia con valores de precipitación similares pueden apreciarse en los siguientes gráficos.

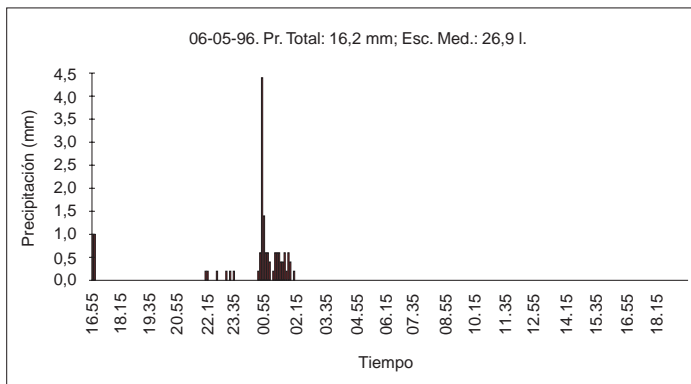


FIGURA 2. Hietograma del evento de lluvia del día 6 de mayo de 1996. Pr. Total: precipitación total; Esc. Med.: escorrentía media de las vertientes.

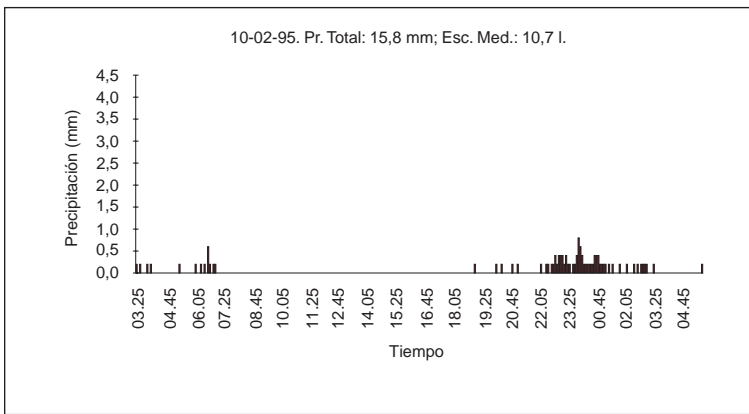


FIGURA 3. *Hietograma del evento de lluvia del día 10 de febrero de 1995. Pr. Total: precipitación total; Esc. Med.: escorrentía media de las vertientes.*

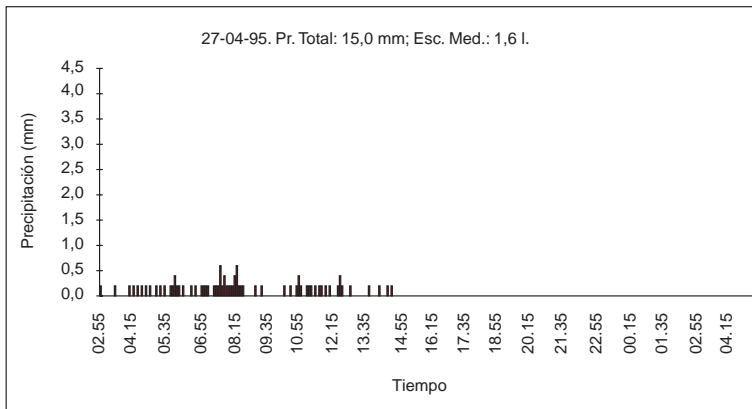


FIGURA 4. *Hietograma del evento de lluvia del día 27 de abril de 1995. Pr. Total: precipitación total; Esc. Med.: escorrentía media de las vertientes.*

La figura 2 muestra el hietograma correspondiente a un evento de corta duración y alta intensidad, perteneciente a una tormenta convectiva muy frecuentes en la zona de estudio durante los meses de primavera. La lluvia está dividida en dos fases con características muy diversas: una primera de muy corta duración y una segunda más larga y con intensidades muy variables. La intensidad máxima en 5 minutos (*I-5*) fue de 52,8 mm h⁻¹, en 10 minutos (*I-10*) de 34,8 mm h⁻¹, en 30 minutos (*I-30*) de 16,0 mm h⁻¹ y en 60 minutos de (*I-60*) de 10,8 mm h⁻¹.

La figura 3 muestra el hietograma de un evento de mayor duración y menor intensidad, con una separación entre sus diferentes fases sensiblemente mayor que en el caso anterior. La fase de mayor duración y cantidad de lluvia se caracteriza por una distribución de las precipitaciones típica de Gauss. La *I-5* es de 9,6 mm h⁻¹, la *I-10* de 8,4 mm h⁻¹, la *I-30* de 4,8 mm h⁻¹ y la *I-60* de 4,2 mm h⁻¹.

La figura 4 representa una distribución muy homogénea de la lluvia, con intensidades de precipitación muy uniformes y con intervalos de tiempo muy cortos entre las rachas de

lluvia, de tal manera que se puede hablar de una sola fase. La *I-5* es de 7,2 mm h⁻¹, la *I-10* de 6,4 mm h⁻¹, la *I-30* de 3,8 mm h⁻¹ y la *I-60* de 3,8 mm h⁻¹.

Como aparece señalado en cada gráfico, ante una cantidad de lluvia similar la escorrentía media de las vertientes es muy diferente, lo cual demuestra la importancia de la «estructura temporal» para explicar la escorrentía superficial y lo útil que puede resultar la elaboración de un índice que considere la continuidad o discontinuidad de la lluvia y la variabilidad de las intensidades durante el evento. Ollesch y Seuffert (1995) han diseñado el siguiente índice (*H*) para cuantificar la mayor o menor homogeneidad de un suceso de precipitación.

$$H = \sqrt{\frac{T_{abs}}{T_{eff}}} + \sqrt{\frac{(N_{max1} - N_0)^2 + (N_{max2} - N_0)^2 + (N_{max3} - N_0)^2}{3}}$$

Donde:

- T_{abs} = duración de la lluvia incluyendo los intervalos de tiempo sin precipitación.
- T_{eff} = duración de la lluvia excluyendo los intervalos de tiempo sin precipitación.
- N_{max1} = intensidad máxima del suceso de lluvia.
- N_{max2} = segunda intensidad más alta del suceso de lluvia.
- N_{max3} = tercera intensidad más alta del suceso de lluvia.
- N_{\emptyset} = intensidad media de la lluvia en T_{eff}

El primer sumando de la fórmula es un número sin dimensiones, mientras que el segundo sumando tiene las dimensiones de la intensidad (mm/minutos). Ello quiere decir que cualquier cambio de unidad afectará al valor del segundo sumando, pero no al del primero, con lo que el valor *H* variará, con la nueva unidad, de forma no proporcional sobre cada evento. Ante este problema, la solución más lógica es considerar cada raíz como una variable independiente y efectuar con las dos una regresión múltiple, pero no su suma. El primer sumando expresaría la continuidad/discontinuidad de la precipitación y el segundo la influencia de las intensidades más altas.

La regresión lineal entre precipitación total y escorrentía de los 32 eventos analizados muestra un valor $r^2=0,675$. El modelo de regresión múltiple entre precipitación total e *I-10* con escorrentía ofrece el grado de explicación más alto, tras operar con diversos modelos de regresión, con un $r^2=0,854$. El resultado obtenido a partir de la aplicación del índice de Ollesch y Seuffert, considerando las dos partes de la fórmula como factores independientes en un modelo de regresión múltiple y no la suma de las mismas, no es satisfactorio (figura 5), con un $r^2=0,448$ y una gran dispersión de los puntos respecto a la recta.

Ante los malos resultados obtenidos con el índice anterior, se ha elaborado como propuesta alternativa el siguiente índice (*P*).

$$P = \sqrt{P_{tot}} \times \sqrt{\frac{(Max\ 1 - MedLL)}{DTLL}}$$

Donde:

- P_{tot} = precipitación total durante el evento.
- $Max1$ = precipitación máxima del hietograma (*I-5*).
- $MedLL$ = precipitación media sobre todo el evento.
- $DTLL$ = desviación típica respecto a $MedLL$.

Se trata de la raíz cuadrada de la intensidad máxima estandarizada sobre todo el evento, y no sólo sobre el período real de lluvia, multiplicada por la raíz cuadrada del total de precipitación. El valor del índice aumentará en proporción al volumen de precipitación total y la heterogeneidad de las intensidades. La regresión lineal entre el índice propuesto y la escorrentía superficial ofrece un grado de explicación ($r^2=0,713$) notablemente superior al obtenido con el índice de Ollesch y Seuffert y su inclusión como variable independiente, junto a la precipitación total e *I-10*, en el modelo de regresión múltiple para explicar la escorrentía mejora ligeramente el porcentaje de explicación ($r^2=0,877$).

En el caso de los eventos correspondientes a las figuras 3 y 4, aparte de apreciarse una gran similitud en los valores de precipitación total, también existe un gran paralelismo en

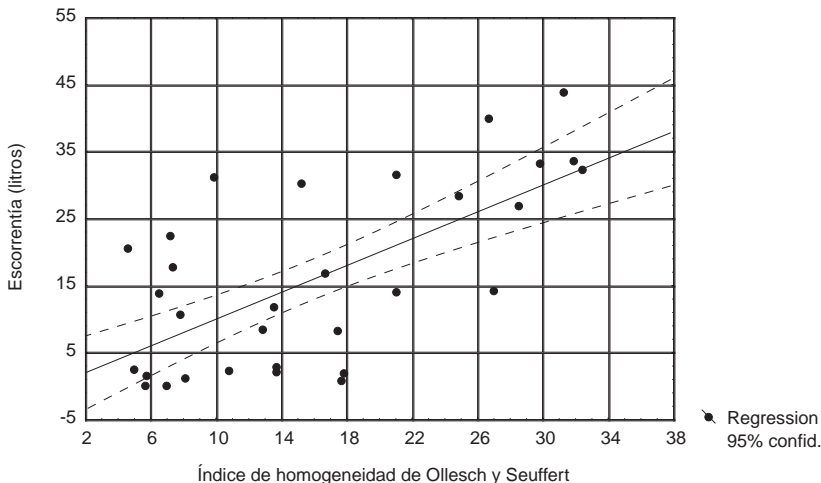


FIGURA 5. Correlación existente entre el índice de homogeneidad de Ollesch y Seuffert y la escorrentía media de las vertientes.

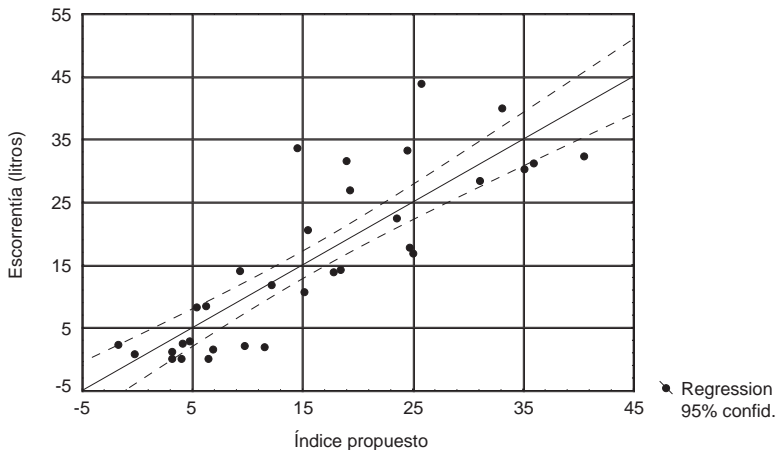


FIGURA 6. Correlación existente entre el índice de homogeneidad propuesto y la escorrentía media de las vertientes.

los valores de intensidad. No obstante, el balance de escorrentía es muy diferente, con una diferencia de 9,1 litros. La aplicación del índice propuesto diferencia claramente ambos eventos, con un valor de 10,4 en el caso del día 10-02-95 y de 7,2 para el día 27-04-95.

5. Conclusiones

En ambientes áridos y semiáridos, junto a la precipitación total y la intensidad, la «estructura temporal» de la lluvia explica la generación y producción de escorrentía superficial en vertientes.

El índice propuesto ofrece un grado de explicación ($r^2=0,713$) que se puede calificar de bueno, aunque en el caso de la serie y zona estudiada, introduce una ligera mejora en el modelo de regresión múltiple constituido por la precipitación total e *I-10* como variables independientes debido al alto grado de explicación de la misma.

La aplicación del índice propuesto puede resultar útil con otras series de datos y en otras zonas, donde el grado de explicación de la escorrentía superficial por parte de la precipitación total e intensidad no sea tan alto.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, en el marco del proyecto AMB95/0986-CO2-02, y apoyado por la Junta de Extremadura, Dirección General de Enseñanzas Universitarias e Investigación.

Bibliografía

- APARICIO MIJARES, F.J. (1992): *Fundamentos de hidrología de superficie*. Ed. Limusa. Grupo Noriega Editores. México.
- CEBALLOS BARBANCHO, A. (1996): *Escorrentía superficial en un área de dehesa de la provincia de Cáceres. Planteamiento metodológico*. Memoria de Licenciatura. 93 p. Dpto. de Geografía y O.T. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Extremadura, Cáceres.
- FONT TULLOT, I. (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- GÓMEZ AMELIA, D. (1985): *La penillanura cacereña. Estudio geomorfológico*. Dpto. de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Servicio de Publicaciones. Universidad de Extremadura.
- LADERO ÁLVAREZ, M. (1987): «La España Luso-Extremadurensis». En Peinado Lorca, M. y Rivas Martínez, S. (eds.): *La vegetación de España*, 455-488. Colección Aula Abierta, Universidad de Alcalá.
- OLLESCH, G. and SEUFFERT, O. (1995): «The impact of rainfall variability on runoff and erosion in pasture ecosystems». En *Conference on Erosion and land Degradation in the Mediterranean*, 115-124. University of Aveiro. Portugal.
- SCHNABEL, S. (1996): *Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Variabilität hydrologischer und erosiver Prozesse in einem kleinen Einzugsgebiet mit silvo-pastoraler Landnutzung (Extremadura, Spanien)*. Berliner Geographische Abhandlungen, Institut für Geographische Wissenschaften, Berlin.
- SEUFFERT, O.; MOTZER, H.; DIECKMANN, H.; HARRES, H.P.; STÜVE, P. and WARTWIG, H. (1988): «Rainfall-runoff and rainfall-erosion relations on hillslopes. New equations and their experimental background». *Geoökodynamik*, band 9, 17-40. Bensheim.
- UNESCO (1979): *Carte de la répartition mondiale des régions arides*. UNESCO, Paris.
- YAIR, A. and ENZEL, Y. (1987): «The relationship between annual rainfall and sediment yield in arid and semi-arid areas. The case of the northern Negev». *Catena Supplement*, 10. pp. 121-135. Braunschweig.

YAIR, A. and LAVEE, H. (1985): «Runoff generation in arid and semi-arid zones». In: Anderson, M.G. and Burt, T.P. (Edrs): *Hydrological Forecasting*. pp. 183-220. John Willey and Sons Ltd.