

Evaluación del escurrimiento y la erosión en condiciones de sabana y bosque claro de altas pendientes. Caso Macapo, Estado Cojedes

Pedogenetic processes in a soil system model, formed by nine subsystems

Oscar Silva Escobar¹

¹ Empresa Regional Desarrollos Hidráulicos Cojedes, C.A. San Carlos, Edo. Cojedes.

RESUMEN

Este ensayo se realizó con la finalidad de determinar el efecto que sobre el escurrimiento y la erosión tienen las coberturas de sabana y bosque claro, en condiciones de alta pendiente. Se llevó a cabo en tierras con pendiente promedio de 35%, suelos de textura franco arenosa, lluvia marcadamente estacional (precipitación anual de 1000-1200 mm, siete meses secos, evapotranspiración anual de 1725 mm), con 80% de vegetación de sabana y 20% bosques bajos y abiertos, ubicadas en Macapo, estado Cojedes.

Las pérdidas de suelo y la escorrentía directa fueron determinadas mediante parcelas de erosión, provistas de colectores para captar sedimentos y escurrimiento, con dimensiones de 15m x 2m, ubicadas bajo las coberturas de sabana, bosque y suelo desnudo en pendientes de 35%. La escorrentía total del sector hidrológico se determinó con un limnógrafo instalado en un canal de aforo. Se determinó la erosividad de las lluvias utilizando las bandas de un pluviógrafo que se instaló en el área. Durante el período del ensayo, ocurrieron 57 días de lluvia, con un total de 778 mm.

En cuanto a escorrentía directa, se obtuvieron mayores valores en el bosque claro que en la sabana, con relaciones, referidas al suelo desnudo, de 0.70 y 0.40, respectivamente, lo cual está directamente relacionado con la casi completa cobertura de la sabana. Las relaciones de escurrimiento con respecto a la precipitación (Q/P) fueron notablemente bajas, 11,07%, 3,9% y 7,27% para el suelo desnudo, sabana y bosque respectivamente. La relación Q/P para el sector hidrológico completo también fue baja, de 5,82% con alta variabilidad. Los resultados sugieren que la pendiente tiene menor importancia en el escurrimiento que el suelo y la cobertura vegetal, perfilándose la intensidad de las lluvias como el factor de mayor importancia.

Las pérdidas de suelo de la sabana y el bosque claro fueron similares, con relaciones de pérdida de suelo con respecto al suelo desnudo de 0.095 y 0.18, respectivamente, con lo que se muestra que el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo es mucho más determinante en la erosión que la erosividad del escurrimiento, ya que en estas coberturas el escurrimiento fue distinto. Adicionalmente, se determinó que la intensidad de las lluvias es de menor importancia que la vegetación sobre el proceso erosivo.

Los resultados permiten establecer la hipótesis de que este tipo de sabana puede ser de mayor beneficio en cuanto al régimen de escurrimiento y sedimentación que el tipo de bosque predominante en la zona.

Palabras clave: erosión, escurrimiento, cobertura vegetal.

ABSTRACT

This work was performed to determine the grassland and clear forest cover effect on erosion and runoff in stepped land conditions. The area is characterized by a mean slope gradient of 35%, sandy loam soils, seasonal rains (mean rainfall is 1000-1200 mm/ year, seven dry-months, and evapotranspiration of 1725 mm/ year). Grassland covers 80% of the area and clear forest 20%.

Soil losses and runoff were measured by 15 m x 2 m erosion plots, with containers to collect sediment and water, under grassland and forest cover plus a bare soil plot. Watershed runoff was measured by a water level recorder installed on a channel. Rainfall erosivity was obtained from rain gage records analysis. Along the work, rainfall was of 778 mm, with 57 rainy days.

It was found that clear forest runoff was higher than grass-land runoff, with bare soil based ratios of 0.70 and 0.40, respectively. This result is related with the very dense grass-land cover. Small runoff/rainfall (Q/P) ratios were found: 11,07%, 7,27% and 3,9% for bare soil, clear forest and grass-land, respectively. Obtained watershed Q/P ratio was also small: 5,82%, with high variability. Results suggest that slope gradient is less important than soil and cover in terms of runoff. Also, rainfall intensity was found to be the most important factor on runoff.

Similar grassland and clear forest soil losses were obtained, with bare soil based ratios of 0,095 and 0,18, respectively. In terms of erosion, this fact means that rain drop impact on soil is more important than runoff erosivity, because runoff under both covers was very different. In addition, it was concluded that rainfall intensity is less important than vegetal cover on erosion process.

From those results it is concluded, in terms of hydrologic and sediment regimes, that the grassland could be a more favorable cover than the local clear forest.

Key words: erosion, runoff, vegetal cover.

INTRODUCCIÓN

De los factores que afectan al escurrimiento directo y a la erosión, la cobertura vegetal es el que tiene mayor influencia. Pequeñas variaciones en ella, con respecto al resto de los factores (clima, suelo, relieve y manejo), ocasionan mayores porcentajes de variación en las tasas de escurrimiento y pérdida de suelo (Wischmeyer y Smith, 1978; Dissmeyer y Foster, 1981). Lizaso (1980), no encontró diferencias significativas en las pérdidas de suelo para diversas pendientes, si no solamente por efecto de las coberturas evaluadas. Hofmann y Ries (1991), al estudiar las relaciones entre las características del suelo y la planta con respecto a la erosión y escurrimiento en sabanas, concluyen que los factores de suelo son de menor importancia.

Para obtener aproximaciones cuantitativas o cualitativas de la erosión, debe tomarse en cuenta que la misma puede depender en gran medida del escurrimiento, ya que el efecto de la cobertura vegetal se muestra por partida doble: protección del suelo contra el impacto de la gota de lluvia y reducción de la tasa y/o velocidad del escurrimiento, con la consecuente reducción de la capacidad de separación y transporte de suelo (Meyer y Wischmeyer, 1969).

Para la evaluación y planificación de una cuenca hidrográfica es fundamental obtener acercamientos cuantitativos sobre el escurrimiento y pérdidas de suelo que se producen o producirán en condiciones dadas. Ello constituye un importante elemento en la toma de decisiones acerca de los tipos de uso y manejo de la tierra que se propongan. La mayoría de los sistemas establecidos son muy sensibles a los valores de

cobertura vegetal (Mellerowicz et al., 1994), por lo cual su estimación debe ser lo más realista posible.

Existe un importante número de material bibliográfico, el cual es frecuentemente utilizado por planificadores e investigadores para establecer valores de escurrimiento y pérdidas de suelo, bien sea a través de ecuaciones o modelos de simulación. Tal es el caso del factor C de la USLE o de los coeficientes de escurrimiento. No obstante, generalmente esta información genérica es poco detallada, inexacta o simplemente, no aplicable en las condiciones particulares de trabajo (Páez, 1989, 1990; López, 1990, Rojas, 1980). Adicionalmente, debe tomarse en cuenta que la mayoría de los modelos para predecir erosión y escurrimiento fueron diseñados para tierras de cultivo, no para pasturas o bosque.

Este trabajo se realizó con la finalidad de determinar el efecto que sobre el escurrimiento y la erosión tienen las coberturas de sabana y bosque claro, en condiciones de alta pendiente, de tal manera, de disponer de valores de relación de pérdida de suelo y escorrentía, así como coeficientes de escurrimiento, mas cercanos a la realidad, representativos de grandes áreas del estado Cojedes, los cuales puedan ser utilizados posteriormente de manera directa en la toma de decisiones, o aplicados en simulación.

METODOLOGÍA

El ensayo se llevó a cabo en tierras con pendiente promedio de 35%, lluvia marcadamente estacional (precipitación anual de 1000-1200 mm, siete meses secos, evapotranspiración anual de 1725 mm), con 80% de vegetación de sabana y 20% bosques bajos y abiertos, ubicadas en Macapo, estado Cojedes.

Los suelos son profundos, bien estructurados, de color marrón oscuro a marrón claro y de textura franco arenosa hasta 80 cm, luego de estructura débil y areno francoso hasta llegar a arenoso. Tiene 5% de grava en casi todo el perfil. La pedregosidad superficial es de 3% con fragmentos de 3 a 7 cm de diámetro. La infiltración es alta y el drenaje interno rápido, debido a los altos valores de porosidad y conductividad hidráulica y a la buena estructuración. Algunas características físicas del suelo se muestran en el Cuadro 1.

La sabana se compone de pasto Brasileira (*Hyparrhenia rufa*), principalmente, con una altura promedio de 1.20 m y un porcentaje de cobertura de 90% sobre el suelo. El bosque claro, de tipo secundario, se compone por vegetación arbustiva (50%) y árboles no mayores de 15 m de alto (30%), cuyo dosel alcanza un 60% de cobertura aproximadamente. La vegetación sobre el suelo es escasa, con una cobertura de 10% aproximadamente.

El período de evaluación se comprendió entre el 21 de Agosto de 1993 y el 6 de Junio de 1994, registrándose 778 mm de precipitación con 57 días de lluvia.

Las pérdidas de suelo y la escorrentía directa fueron determinadas mediante parcelas de erosión, instaladas entre el 2 y el 8 de Julio de 1993, provistas con colectores para sedimentos y escorrentía, con dimensiones de 15m x 2m, ubicadas bajo las coberturas de sabana y bosque bajo (sin repeticiones), más un tratamiento testigo con suelo desnudo (dos repeticiones), sobre la pendiente promedio del sitio (35%). Estas últimas, fueron limpiadas tres veces con escardilla, en sentido de la pendiente y periódicamente se realizaron limpiezas manuales.

Las relaciones de pérdida de suelo y escorrentía con respecto al suelo desnudo (CA y CQ) se obtuvieron tanto para cada medición, como global para todo el período. Los valores individuales fueron finalmente promediados.

Cuadro 1. Características físicas del suelo

Profundidad (cm)	Textura	Porcentaje A	Porcentaje L.	Porcentaje a	Cond. Hid. (K) cm/h	Densidad aparente (Mg/m ³)	Porosidad total m ³ /m ³	Microporos m ³ /m ³	Macroporos m ³ /m ³
0-40	F-Fa	15	33	52	3.57	1.35	0.51	0.38	0.12
40-80	Fa	13	21	66	19.86	1.38	0.43	0.30	0.13
80-150	aF	3	20	77	2.37	1.56	0.42	0.31	0.11

La precipitación se midió con un pluviógrafo instalado en la zona, de cuyas bandas se obtuvo también la erosividad de las lluvias (EI30).

La escorrentía total del sector hidrológico se obtuvo de los hidrogramas producidos por un limnógrafo instalado en un canal de aforo. Con tal información se calcularon las relaciones de escurrimiento directo/precipitación (Q/P) y escurrimiento total/precipitación (QT/P)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pérdidas de suelo

Los valores obtenidos de pérdidas de suelo y relación de pérdida de suelo con respecto al suelo desnudo (Cuadro 2) muestran la influencia que las coberturas locales ejercen sobre la pérdida de suelo. Se observa que a pesar de que el bosque claro presentó menor pérdida de suelo total, tuvo mayor relación de pérdida de suelo promedio que la sabana. Por tal razón, se estima que la sabana pueda ser un poco más protectora ante la erosión que el bosque claro local.

Al comparar la erosividad de las lluvias (EI30) con las pérdidas de suelo, se observa claramente que sólo en suelo desnudo la erosión sigue la misma tendencia que la erosividad que le dio origen. Con las coberturas de bosque claro y sabana, la tasa de erosión presenta muy poca variación ante cambios en la erosividad (Figura 1)..

Cuadro 2. Pérdidas de suelo (A) y relación de pérdidas de suelo (CA)

Cobertura	Pérdida de suelo -A- (Mg/ha)	Relación de pérdida de suelo total.	Relación de pérdida de suelo promedio-C _A -
Suelo desnudo	112.23	1.00	1.00
Sabana	3.43	0.030	0.095
Bosque claro	2.03	0.018	0.18

Por lo tanto, puede afirmarse según estos resultados, que la cobertura vegetal tiene mayor influencia sobre la erosión que el efecto individual que ejerce la intensidad de la lluvia. Así mismo puede inferirse, que cambios en la cobertura vegetal determinarán mayores cambios en la erosión que lo que podrían hacer variaciones en el patrón de intensidad y magnitud de las lluvias.

Las relaciones de pérdida de suelo con respecto al suelo desnudo implican que las coberturas en estudio reducen la erosión a valores entre 10 y 20% de la erosión potencial. Dichas relaciones podrían ser utilizadas, con fines de evaluación general de cuencas de condiciones similares a la del estudio, en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE, Wischmeier y Smith, 1978), en la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Modificada (MUSLE, Williams y Berndt, 1977) o en los modelos basados en una u otra, ya que corresponden al factor de uso y manejo de la tierra (factor C).

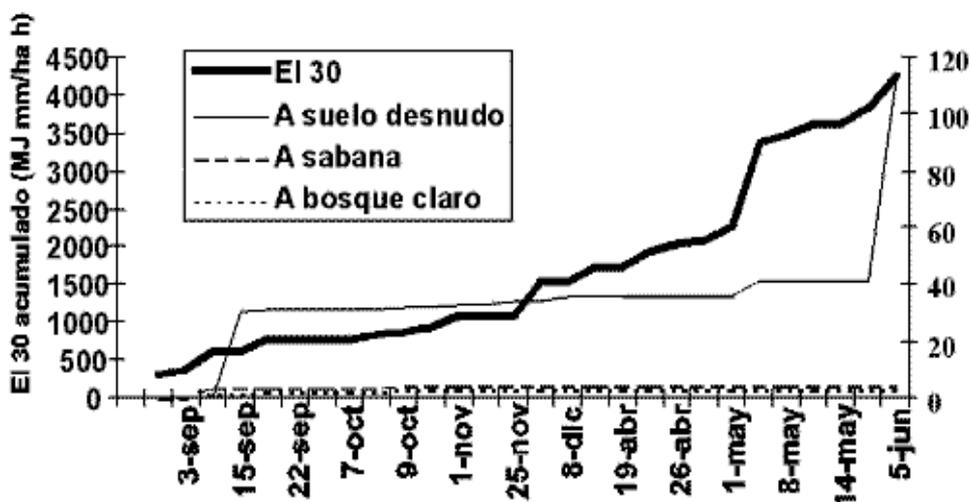


Figura 1. Comparación de las tendencias de la erosividad de la lluvia (EI30) y las pérdidas de suelo (A).

Escurrimiento directo en parcelas

Los resultados de escurrimiento (Q), relación de escurrimiento con respecto al suelo desnudo (CQ) y relación escurrimiento/precipitación (Q/P) se muestran en el Cuadro 3.

Como puede observarse, la casi total cobertura que la sabana ofrece al suelo, se convierte en un eficiente obstáculo contra la escorrentía superficial. El escurrimiento en el bosque claro resultó ser el más alto, lo cual puede atribuirse a la poca cobertura vegetal a ras del suelo. Igual tendencia encontró Lizaso (1980), quien también obtuvo valores muy similares de Q/P entre suelo desnudo (14.6%) y bosque (13.10%), en pendientes de 25% y suelo de textura AL-A. Ello es muestra, al igual que la relación de escurrimiento con respecto al suelo desnudo, que este tipo de bosque tiene gran potencial de escurrimiento.

El valor obtenido de Q/P para suelo desnudo (8.79%) es notablemente bajo si se compara con los mostrados en el Cuadro 4.

El poco escurrimiento producido por el suelo desnudo es indicativo de que las propiedades del suelo son más determinantes que la pendiente. En este caso, la alta capacidad de infiltración puede ser atribuida a la alta conductividad hidráulica, a la pedregosidad superficial, la textura y a la buena estructura del suelo, que además en conjunto confieren resistencia a la desagregación y a la formación de sello superficial.

A diferencia de lo ocurrido con la erosión, el escurrimiento presentó igual tendencia que la erosividad de las lluvias independientemente de las coberturas (Figura 2). Tal hecho demuestra la gran influencia que tiene la intensidad de la precipitación sobre la generación de caudales, donde la vegetación funge como regulador de las magnitudes de los mismos

Cuadro 3. Escurrimiento y relaciones de escurrimiento con respecto al suelo desnudo y la precipitación

Cobertura	Escurrimiento -Q- (mm)	Relación de escurrimien- to total.	Relación de escurrimien- to promedio -C _Q -	Relación Q/P (%)
Suelo desnudo	86.18	1	1	11.07
Sabana	30.98	0.36	0.40	3.9
Bosque claro	56.57	0.66	0.70	7.27

Cuadro 4. Valores de Q/P para suelo desnudo en otras localidades

Localidad	Pendiente (%)	Q/P (%)	Fuente
Macapo, Venezuela	35	8.79	-
Bajo Seco, Venezuela	16.5	65.3	Fernández, 1989
Wasatch Mountains, Utah, EE.UU.	32	23	Hart, 1984
La Concepción, Portuguesa, Venezuela	25	14.6	Lizaso, 1980

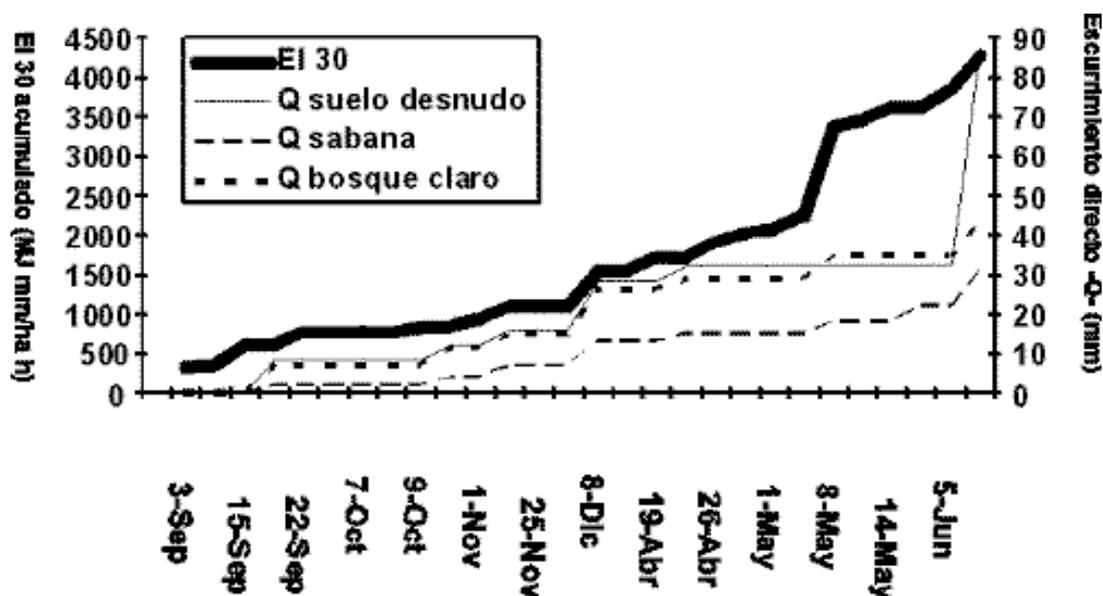


Figura 2. Comparación de las tendencias de la erosividad de las lluvias (EI30) y el escurrimiento directo (Q).

Escurrimiento directo en la cuenca completa

Al analizar los hidrogramas del sector hidrológico completo, se obtuvieron relaciones o factores de escurrimiento directo que oscilaron entre 2,02% y 38,13% , con un promedio de 5,82%. La relación de escurrimiento total (Q_T/P), lo que incluye los flujos subsuperficiales (lateral y de base), fue de 19,75%. La relación de flujo subsuperficial/ precipitación sería de 13,93%. Estos últimos valores confirman la alta capacidad de infiltración y de almacenamiento subsuperficial de agua que posee la cuenca, donde las condiciones de suelo y vegetación son determinantes.

En la Figura 3 puede observarse que la ocurrencia de crecidas (incremento de la producción de agua por escurrimiento directo) tiene poca correspondencia con la cantidad de lluvia caída. Sucedieron casos donde lluvias de mayor magnitud no produjeron crecidas, como si lo hicieron lluvias de menor magnitud. En correspondencia por lo concluido por otros autores (Hart 1984, Hofmann y Ries, 1991; Mitchell et al., 1993), tal fenómeno comprueba que la cantidad de lluvia caída por si sola no es determinante para ocasionar escurrimiento, sino que intervienen factores como la humedad antecedente del suelo y la distribución en el tiempo e intensidad de las lluvias. Adicionalmente, la diversidad de factores de precipitación que intervienen en el escurrimiento ocasionan gran variabilidad de la relación Q/P .

Cuadro 5. Relaciones Q_T/P para cuencas pequeñas

Localidad	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Q_T/P (%)	Cobertura	Fuente
Macapo, Venezuela	125	35	19,75	80% sabana 20% bosque claro	-
Illinois, USA.	51,4	2	16,4	Cultivos arables	Mitchell et al., 1993
Illinois, USA	31,7	2	8,6	Cultivos arables	Mitchell et al., 1993
Warwickshire, Inglaterra	200	2	36	Bosque decíduo. Pasturas	Foster et al., 1990
Warwickshire, Inglaterra	238	2	45	Cultivos arables. Pasturas	Foster et al., 1990

Relaciones erosión-escurrimiento

Es de hacer notar que el bosque, a pesar de producir mayor escurrimiento directo, no produjo mayores pérdidas de suelo, lo que es indicativo de la baja erosividad del flujo en estos ambientes, lo cual puede ser debido a que la separación de los agregados de suelo es notablemente mitigada al perder las gotas de lluvia energía erosiva a través de la copa de la vegetación. Puede afirmarse, que la erosión depende más del impacto de la gota de lluvia sobre el suelo que de la separación que pueda ocasionar la escorrentía. Hofmann y Ries (1991), al obtener en parcelas bajo pastura casos con mayor pérdida de suelo y menor escurrimiento, concluyen que el incremento en la pérdida de suelo se debe a la concentración de sedimentos y no a la cantidad de escorrentía.

Las relaciones erosión-escurrimiento de las sabanas y bosques abiertos locales son de suma relevancia en la planificación del uso de la tierra en la cuenca, ya que a pesar de que ambas coberturas teóricamente deban producir las cantidades similares de sedimentos de origen laminar, los regímenes hidrológicos de ambas serían distintos. Bajo total cobertura de sabana existiría una importante infiltración, con un consecuente incremento en los flujos subsuperficiales lateral y de base. Bajo total cobertura de bosque, la infiltración sería un componente de poco peso, predominando el escurrimiento directo, lo que se traduciría en mayores regímenes torrenciales y de erosión concentrada.

El valor obtenido de QT/P fue similar o mas bajo que el presentado por otros autores para cuencas pequeñas (Cuadro 5) todas con pendiente muy inferior. Ello muestra que la pendiente no es tan determinante sobre las relaciones escurrimiento / precipitación como otros factores, por ejemplo la cobertura vegetal, el suelo y su manejo y las características de la precipitación.

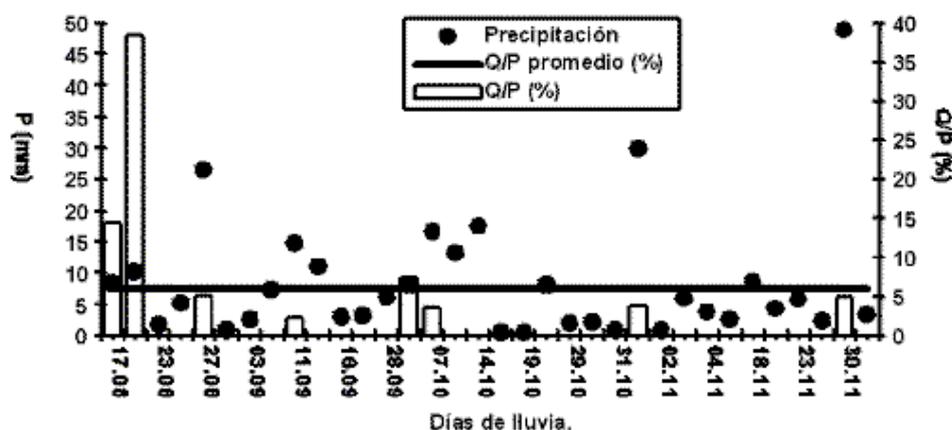


Figura 3. Relación escurrimiento directo/precipitación (Q/P) para diversos eventos de lluvia en el sector hidrológico.

CONCLUSIONES

Tanto las coberturas de sabana como la de bosque claro son un importante factor de mitigación en el proceso erosivo. Ambas coberturas reducen notablemente la erosión potencial, es decir, la que ocurriría sin ninguna cobertura, al 10 a 20% de la misma. Sin embargo, el efecto sobre el escurrimiento es distinto. El bosque local produce mucha mayor escorrenría que la sabana, en niveles similares al suelo desnudo.

La cobertura vegetal presentó mayor influencia sobre la tasa de erosión que la erosividad de las lluvias, mientras que esta última tuvo gran influencia en la generación de escurrimiento.

La pérdida de suelo se comportó independientemente de la tasa de escorrenría, es decir, mayores volúmenes de escurrimiento, como en el caso del bosque, no significaron mayores niveles de erosión que en la sabana. Puede afirmarse que la erosividad de la lluvia es mucho más determinante sobre la erosión que la erosividad de la escorrenría.

A pesar de la elevada pendiente, las relaciones Q/P para el suelo desnudo, coberturas y cuenca completa fueron bajas, lo que implica que el factor topográfico tiene menor influencia que la cobertura y el suelo en la ocurrencia de escurrimiento.

De ambas coberturas puede esperarse una cantidad similar de sedimentos producidos en las laderas y de origen laminar. Sin embargo, en la cobertura de bosque existirá mayor torrencialidad en el escurrimiento, con un consabido aumento de la erosión concentrada o de cauce.

Según estos resultados, en el manejo y conservación de cuencas similares, debe prestarse especial atención a los trabajos relativos a aprovechamiento y mejoramiento de la sabana, ya que son un sistema actualmente establecido y de gran cobertura regional, con propiedades sobre la erosión y escurrimiento más positivas de lo que generalmente se piensa.

Agradecimientos

División de Redes (Dirección de Hidrología del MARNR), por haber suplido el instrumental hidrológico. Geog. Irida Vivas (MARNR Región Cojedes) por el procesamiento de los datos correspondientes a la erosividad de las lluvias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dissmeyer, G and G. Foster, 1981. Estimating the cover management factor © in the universal soil loss equation for forest condition. *J. Soil and Water Cons.* 35: 235-240.
- Fernández, N. 1989. Evaluación de prácticas de conservación de suelos en cultivos hortícolas. En: *La erosión hídrica, diagnóstico y control.* Rev. Fac. Agr. Alcance 37:87-96.
- Foster, Y; R. Grew; J. Dearing. 1990. Magnitude and frecuencia of sediment transport in agricultural catchment: a paired lake-catchment study in Midland England. In: *Soil erosion on agricultural land.* Edited by Boarman, Foster and Dearing. John Wiley and Sons. 151-171.
- Hart, G. 1984. Erosion from simulated rainfall on mountain rangeland in Utah. *J. Soil and Water Cons.* Sept- Oct. 330-334.
- Hofmann, L. and R. Ries. 1991. Relationships of soil and plant characteristics to erosion and runoff on pasture and range. *J. Soil and Water Cons.* March-April. 143-147.
- Lizaso, J. 1980. Erosión laminar bajo diferentes coberturas y pendientes en un palehumult de las cuencas altas del programa Guanare-Masparro. Tesis de Maestría. CIDIAT. Mérida. 149 p.
- López, R. 1990. Algunas consideraciones en relación al uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Venezuela. En: *Metodologías de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y el ambiente.* CIDIAT. pp 85-92.
- Mellerowickz, K; H. Rees; T. Chow; and Y. Ghanem. 1994. Soil conservation planning at the watershed level using USLE with GIS and microcomputer technologies: a case of study. *J. Soil and Water Cons.* 49(2): 194-200.
- Mitchell, J.K; B.A. Engel; R. Srinivasan and S. Wang. 1993. Validation of AGNPS for small watersheds using an integrated AGNPS/GIS system. *Water Resources Bulletin.* 29(5):833-842.

- Meyer, L.D and W.H. Wischmeier. 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Trans. ASAE. 12 (6): 754-758.762.
- Páez, M.L. 1989. Diseño de prácticas de conservación con la ecuación universal de pérdida de suelo. CIDIAT. 125 p.
- Páez, M.L. 1990. Consideraciones metodológicas sobre la USLE para mejorar su poder predictivo y la calidad de la información básica generada para su utilización. En: Metodologías de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y el ambiente. CIDIAT. pp 103- 116.
- Rojas, R. 1980. Hidrología de tierras agrícolas.CIDIAT. Mérida. 118 p.
- Williams, J.R and H.D. Berndt. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE. 20(6): 1100-1104.
- Wischmeier W.H and D.D Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA. Agriculture Handbook No. 537. 58p.