

# Tasas de Escorrentía Superficial y Erosión Laminar en Puriscal, Costa Rica<sup>1</sup>

W. Vahrson\*, C. Cervantes U.\*\*

## ABSTRACT

In the Puriscal area, in Costa Rica, run off and erosion plots were installed, in slopes of about 60% under coffee plantations and a pasture. A precipitation of about 2090 mm from 73 erosive rainfall events produced a total surface run off of between 13.3 mm and 51.1 mm, according to the different types of land use and the different hydraulic conductivities of the soils. The total erosion varied between only 185 kg/ha and 1500 kg/ha. These values are significantly lower than the values obtained with an application of the Universal Soil Loss Equation (USLE). We concluded that the USLE overestimated erosion rates significantly, especially when in mountainous regions; the slope factor is totally out of the range of its original calibration.

## COMPENDIO

En la zona de Puriscal, Costa Rica, se instalaron tres parcelas para la medición de escorrentía superficial y erosión laminar en pendientes de alrededor del 60%, cultivadas con café y pastos. Una precipitación total alrededor de 2090 mm y, aproximadamente, 73 eventos erosivos produjeron una escorrentía superficial que varió entre 13.3 mm y 51.1 mm, de acuerdo con los diferentes usos del suelo. Las pérdidas totales anuales por erosión llegaron a valores entre 185 kg/ha y 1500 kg por hectárea. Estos valores son significativamente inferiores a los calculados por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS). Se llegó a la conclusión de que la EUPS tiende a sobreestimar en forma considerable las tasas de erosión, especialmente cuando se aplica en zonas de pendientes fuertes totalmente fuera del rango de su calibración.

## INTRODUCCION

La erosión hídrica, y en especial la erosión laminar y en surcos pequeños, es la forma de erosión que más afecta la agricultura por degradación y pérdida del horizonte A de los suelos, y la producción de sedimentos en los ríos. Este fenómeno es mundial, como lo confirman Stocking (8) para Zimbabue, y Dunne y Leopold (4) para los Estados Unidos de América (EE.UU.).

Una de las formas más comunes para determinar las tasas de erosión laminar y en pequeños surcos es la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), desarrollada por Wischmeier y Smith (10) para el oeste de los EE.UU.

Existen varias aplicaciones de la EUPS y de sus componentes en Costa Rica, aunque la calibración original se efectuó en condiciones muy diferentes. La erosión pluvial fue determinada por Amézquita y Forsythe (1), para Turrialba, y por Vahrson (9), para 115 estaciones en el país. Mora (6) utilizó la ecuación completa en la cuenca del río Pejibayce, obteniendo valores de erosión entre 1 t/ha y 1575 t/ha por año; en un trabajo a pequeña escala, un grupo consultor de la FAO y del Servicio de Conservación de Suelos y Aguas (SENACSA) determinó pérdidas anuales de suelos en todo el país con valores a veces superiores a 800 t/ha y un promedio de 130 t/ha (3). Palacios y Alfaro (7) obtuvieron para la Quebrada Pital en la zona de Puriscal, valores de 10 t/ha en sólo el 3% de la superficie hasta más de 800 t por hectárea.

Asumiendo una densidad aparente promedio alrededor de  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  para el horizonte A de un suelo, una pérdida de  $100 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  equivale a una pérdida de 1 cm del perfil del suelo, como promedio para una hectárea. Por lo tanto, los valores antes mencionados de más de  $800 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$  y hasta  $1575 \cdot \text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$  equivaldrían a pérdidas promedios entre 8 cm y 15 cm por año, o sea que provocarían la pérdida completa del horizonte A en muy pocos años.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 7 de junio de 1991. Este estudio es resultado de una cooperación entre la Dirección General Forestal (DGF), el Proyecto de Desarrollo Agrícola Forestal (PRODAF) de la Cooperación Técnica Alemana, y la Universidad Nacional (UNA), C.R. Le agradece al Ing F. Fernández; al técnico S. Díaz y a los señores D. Moreno y G. Palacios.

\* Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, C.R.

\*\* Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional, Heredia, C.R.

Debido a que estas tasas parecen muy altas y a la escasa disponibilidad de valores reales de la erosión en Costa Rica, se procedió a la instalación de parcelas para cuantificar estas pérdidas.

### MATERIALES Y METODOS

La estación meteorológica y las tres parcelas actualmente instaladas se encuentran en Cerbatana de Puriscal, Costa Rica, América Central. Su ubicación es de 9°50' de longitud, con 84°21' de latitud y una altitud aproximada de 1100 m sobre el nivel del mar.

El clima se clasifica como tropical húmedo, con una marcada estación seca que se extiende desde diciembre hasta abril. La precipitación promedio anual medida en la estación Puriscal, a una distancia de 4 km, es de 2541 mm anuales. El valor de la erosión anual promedio (factor R de la EUPS) de la misma estación fue calculado en 255 unidades, moderado para las condiciones climáticas de Costa Rica (9).

El suelo ha sido clasificado como Udic Haplustalf, de textura arcillosa. Las dimensiones de las parcelas fueron de 7 m de ancho y de 22.1 m de largo, con una superficie horizontal de 134.5 metros cuadrados. Se situaron en un cafetal con árboles de sombra, cítricos y maderables, en uno sin sombra y en un pasto, en pendientes que oscilaron entre el 56% y 59 por ciento. La siembra se hizo en contorno, con una barrera viva de zacate citron (*Cymbopogon citratus*), aproximadamente en el centro de las parcelas. La edad del café al inicio de las mediciones fue de dos años. La cobertura foliar fue de alrededor del 70 por ciento. El pasto mostró formas de degradación ligera por terracetos, provocadas por el pisoteo del ganado. Las parcelas se aislaron con una cerca de zinc galvanizado de 40 cm de altura para evitar la entrada y salida de agua.

En el límite inferior de las parcelas se hizo una acequia tipo Gerlach (5). Esta captó la escorrentía superficial, la cual por medio de un tubo de pvc, se pasó a un sistema de dos tanques de almacenamiento. Todos los días, entre las 7 h y 9 h, se realizaron las mediciones y el muestreo.

Los parámetros meteorológicos provienen de la estación meteorológica del experimento, la cual se ubica a una distancia no mayor de 500 m de las parcelas, equipada con un pluviómetro, un pluviógrafo, un hidrotérmografo y un anemógrafo.

### RESULTADOS

#### Características físicas de los suelos

El uso del suelo ha influido en las características físicas de estos suelos. La textura y estructura no varían

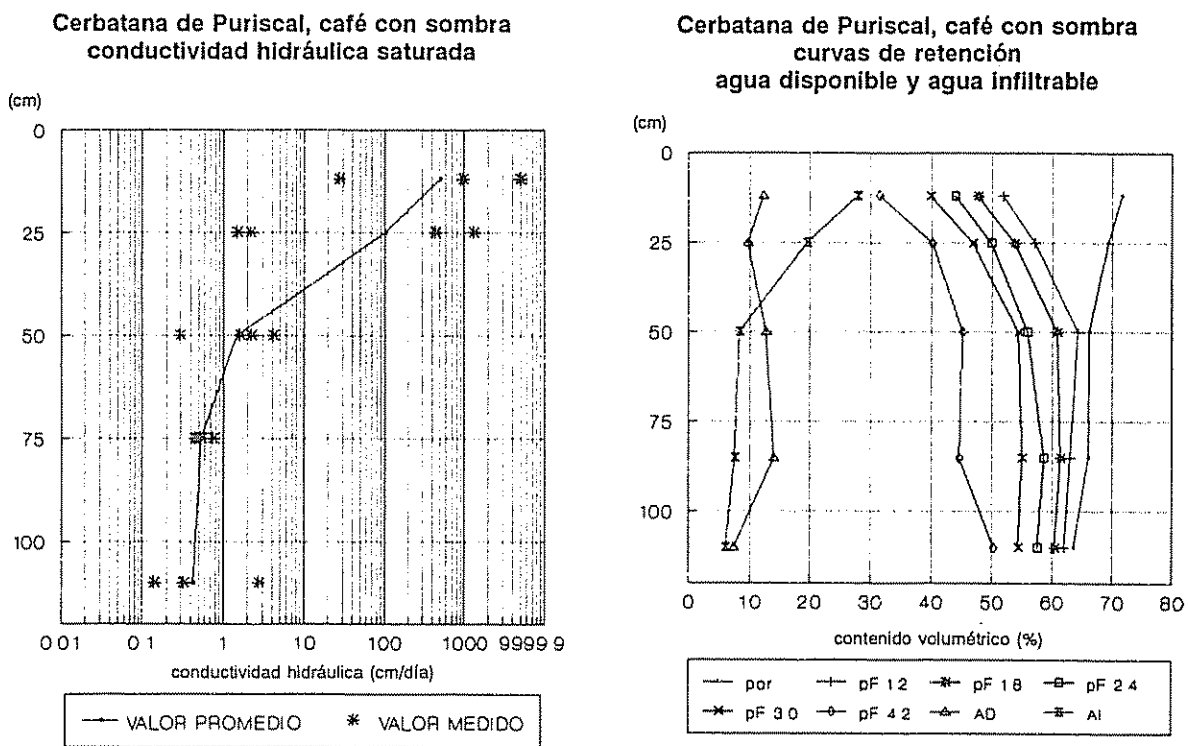
sustancialmente y la clase textural superficial es arcilla (Cuadro 1). Las curvas de retención y las conductividades saturadas presentan grandes variaciones (Figs. 1, 2 y 3).

Cuadro 1. Textura y estructura de los horizontes superiores de las diferentes parcelas.

Parcela/ Horizonte/ Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase	Estructura
<b>Café con sombra</b>					
A 0-5	33.0	18.2	48.8	arcilla	granular fina
A2 5-15	35.0	16.2	48.8	arcilla	bloques subang
B 50-120	32.2	17.4	50.4	arcilla	bloques subang.
<b>Café sin sombra</b>					
A 0-15	23.0	30.6	46.4	arcilla	granular
A2 15-37	42.2	25.4	32.4	franco- arcilloso	bloques subang.
AB 37-65	36.2	23.4	40.4	arcilla	bloques subang.
<b>Pasto</b>					
A 0-35	32.2	25.4	42.4	arcilla	granular/ bloques subang.
AB 35-50	24.2	17.4	58.4	arcilla	bloques subang.
B 50-130	26.2	11.4	62.4	arcilla	bloques subang.

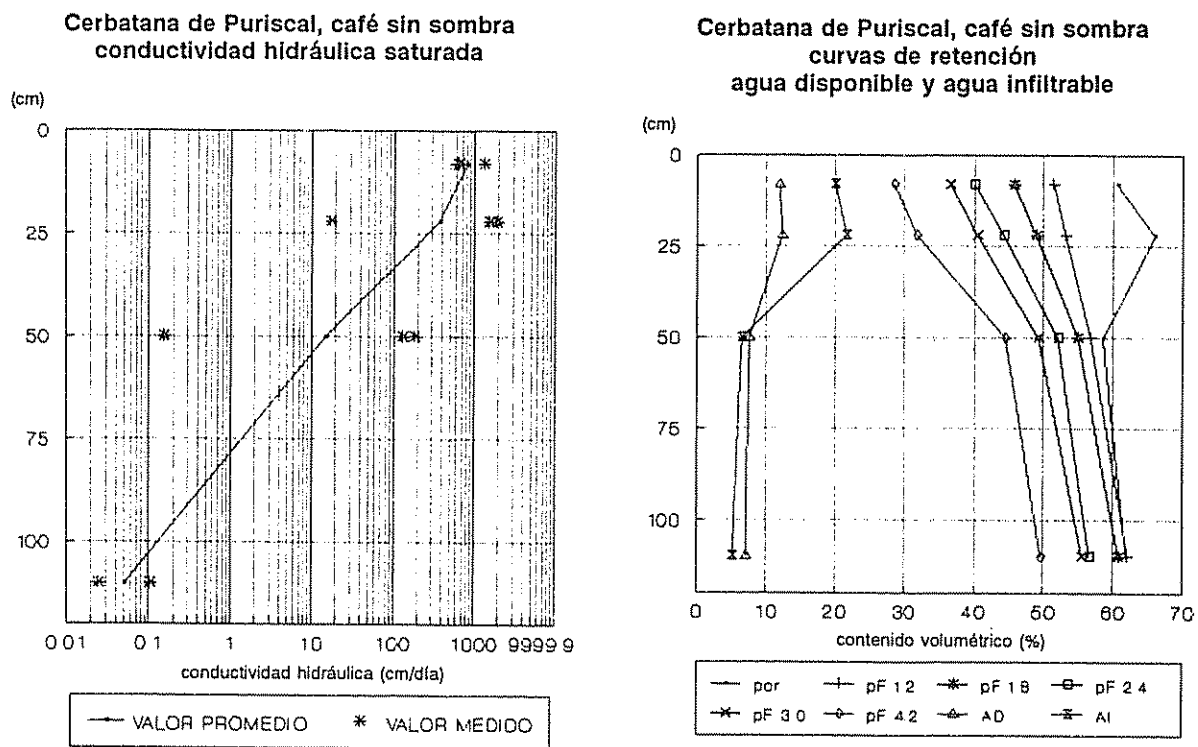
En el caso de las parcelas con café los promedios de las conductividades saturadas de los primeros 25 cm variaron entre 100 cm y 500 cm por día (con sombra) y entre 250 cm y 750 cm por día (sin sombra); estos valores se clasifican como moderados a rápidos. En el caso de las parcelas sembradas con pasto, en cambio, estos promedios variaron entre 12 cm y 2.5 cm por día, los cuales se clasifican como lentos a moderados e indican una posible compactación. En los horizontes inferiores, el comportamiento de las conductividades saturadas es relativamente homogéneo: todas las parcelas llegan a valores inferiores a 1 cm por día, clasificado como muy lento.

Las curvas de retención y la porosidad total indican un comportamiento parecido. La porosidad total en las parcelas muestra valores generalmente entre el 62% hasta el 65%, con un incremento hasta de un 72% respectivamente y del 67% en los horizontes superiores de las parcelas con café. Sin embargo, la distribución



Fuente: Vahrson 1990

Fig. 1. Agua retenida y conductividad saturada en la parcela de café con sombra según diferentes profundidades.



Fuente: Vahrson 1990

Fig. 2. Agua retenida y conductividad saturada en la parcela de café sin sombra según diferentes profundidades.

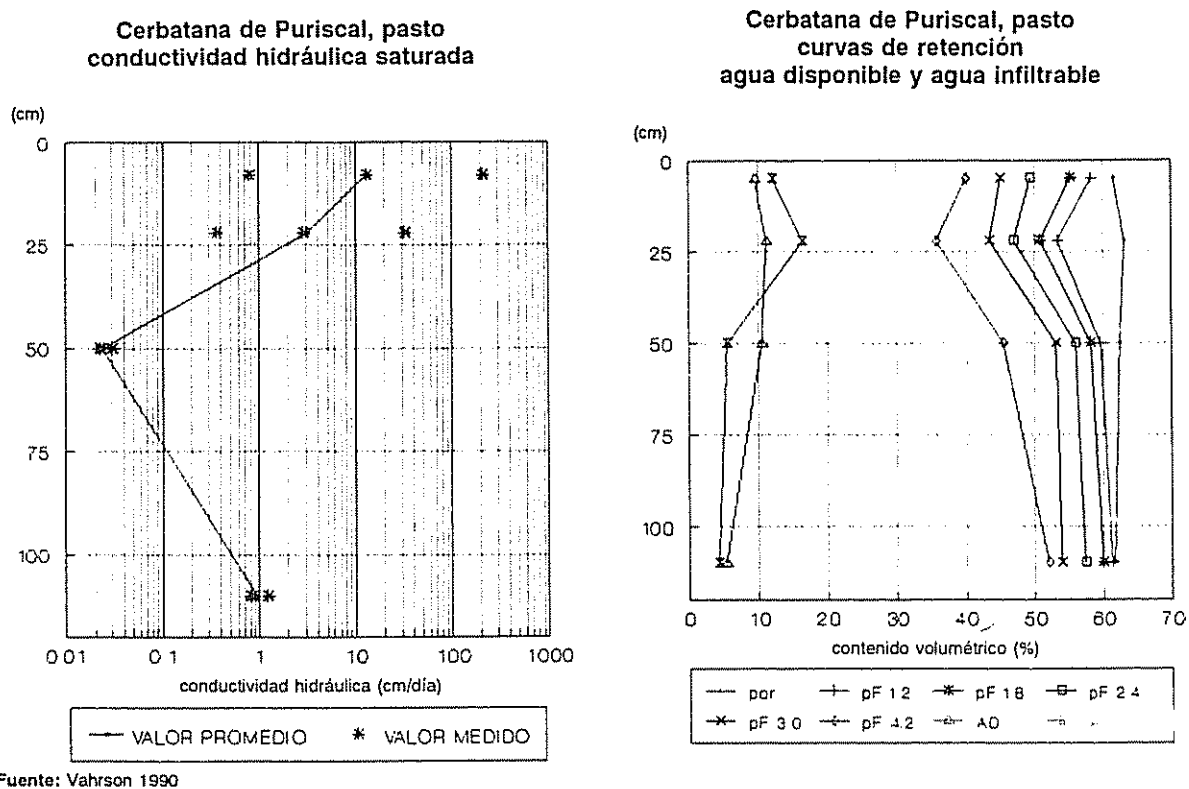


Fig. 3. Agua retenida y conductividad saturada en la parcela de pasto según diferentes profundidades.

de los tamaños de los poros, derivada de las curvas de retención, es más importante que la porosidad total de los poros; aquí se observa que la diferencia (AI) entre la porosidad total (por) y el agua retenida con un pF de 2.4 (capacidad del campo) tiene valores entre 20% y 28% en los casos de las parcelas con café, mientras que en el caso del pasto estos valores oscilan entre 12% y 16%, o sea que son significativamente menores. Esta diferencia corresponde a la presencia de poros gruesos con un diámetro mayor de 9.5 cm aproximadamente, indicando una fuerte reducción, supuestamente por compactación de los poros secundarios en el pasto. Este fenómeno provoca al mismo tiempo un aumento de los poros finos y muy finos (Figs. 1, 2, y 3).

### Características climáticas

Las características climáticas más importantes, en relación con la erosión hídrica laminar, son la precipitación total y sus intensidades. Considerando sólo las lluvias superiores a los 10 mm como críticas, se llega a quince casos críticos en mayo, diez en junio, diez en julio, seis en agosto, diez en setiembre, trece en octubre, seis en noviembre y tres en diciembre.

Cuadro 2. Intensidades máximas observadas en Cerbatana de Puriscal y su período de retorno en Puriscal.

Duración (min)	Volumen (mm)	Intensidad (mm/h)	Período de retorno (años)
5	10.3	123.6	<< 2
10	20.0	120.0	< 2
15	28.0	112.0	2
30	49.0	98.0	5 - 10
60	57.2	57.2	2 - 5
90	59.7	39.8	< 2
120	60.5	30.3	2 - 5
1 440	65.0	2.7	<< 2

Los volúmenes mayores observados corresponden a cuatro tormentas con una precipitación entre 62 mm y 65 mm, las cuales tuvieron lugar en mayo, junio, setiembre y octubre. Estos valores son muy bajos todavía y su período de retorno como máximo anual es menor de dos años (con referencia al registro de Puriscal). Estos hechos indican que hubo un año con lluvias diarias de un volumen relativamente bajo, mientras las

intensidades de las lluvias llegaron a valores mayores: el volumen máximo de 49 mm durante 30 min corresponde a una intensidad de 98 mm/h, o sea a un período de retorno de cinco a diez años. El Cuadro 2 muestra esta relación para otras duraciones analizadas, e indica que 1990 fue un año regular sin eventos realmente muy altos.

### Escorrentía superficial y pérdida de suelos

El Cuadro 3 muestra los resúmenes mensuales de la precipitación y de la escorrentía superficial. Los valores mayores de la escorrentía se presentaron en la parcela de pastos, seguida por la parcela de café con sombra, mientras los valores de la parcela de café sin sombra son los más bajos. En el Cuadro 3 se puede observar que el valor más alto corresponde a la parcela de pasto en noviembre y llega al 7.6% de la precipitación. Los promedios llegan a sólo un 1.2% en la parcela de café con sombra, a 0.6% en aquella de café sin sombra y a 2.1% en el caso del pasto, que coinciden con las conductividades saturadas analizadas.

**Cuadro 3. Resúmenes mensuales de la escorrentía superficial en valores absolutos y como porcentaje de la precipitación.**

Mes	Prec. (mm)	Café con sombra		Café sin sombra		Pasto	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Mayo	407	2.3	0.6	0.5	0.1	5.4	1.3
Junio	293	2.6	0.9	0.5	0.2	3.1	1.1
Julio	258	2.9	1.1	0.7	0.3	2.9	1.1
Agosto	201	1.2	0.6	0.6	0.3	1.5	0.7
Set.	255	2.3	0.9	1.3	0.5	1.5	0.6
Oct.	305	2.8	0.9	2.4	0.8	8.1	2.7
Nov.	261	8.9	3.4	4.0	1.5	22.8	8.7
Dic.	110	5.2	4.7	3.6	3.3	5.9	5.4
Total	2 092	27.9	1.3	13.3	0.6	51.1	2.4

Los valores de la pérdida de suelos también son muy bajos; en la parcela cultivada de café con sombra apenas sobrepasan 1 t/ha (Cuadro 4).

La relación entre estos valores puede explicarse de la siguiente manera: la mayor escorrentía ocurre en el pasto, pero debido a la buena cobertura del suelo, no logra una mayor erosión. En la parcela de café sin sombra los valores son muy bajos de la escorrentía son el factor limitante, mientras que la cobertura del suelo no llega a valores tan elevados como en el pasto. Por último, la parcela de café con sombra posee una cober-

**Cuadro 4. Pérdida de suelos a nivel mensual.**

Mes	Café con sombra (kg/ha)	Café sin sombra (kg/ha)	Pasto (kg/ha)
Mayo	554.3	1.3	18.9
Junio	165.3	0.5	23.9
Julio	42.2	1.3	2.9
Agosto	2.9	2.2	3.2
Setiembre	174.9	6.6	7.4
Octubre	13.0	16.8	23.2
Noviembre	368.3	101.9	232.8
Diciembre	42.6	37.4	27.1
Total	1 363.6	167.9	339.4

tura parecida a la de café sin sombra, pero la escorrentía mayor, provocada por una conductividad menor, produce la mayor pérdida de suelos observada.

### Aplicación de la EUPS

Para la aplicación de la EUPS, se llega a los parámetros siguientes, utilizando los monogramas de Wischmeier y Smith (10):

**Cuadro 5. Parámetros y cálculo de la pérdida de suelos mediante la EUPS para las diferentes parcelas.**

Factor	Café con sombra	Café sin sombra	Pasto
K (Suelo)	0.09	0.08	0.19
R (Lluvias)	255	255	255
LS (Pendiente)	15	15	15
C (Cobertura)	0.07	0.07	0.007
P (Práctica)	0.95	0.95	1.0
Pérdida promedio:			
A (t/ha)	55.4	49.1	12.3

Estos valores calculados sobrepasan la pérdida real medida en forma considerable, aunque la estimación de los parámetros fue conservadora.

#### DISCUSION

Comparando los resultados del cálculo de la pérdida de suelos, mediante la EUPS, con los valores realmente medidos, se puede observar una gran diferencia, ya que la EUPS parece sobreestimar la pérdida real en un grado muy alto.

Las posibles causas de estas diferencias serían:

- El tiempo de las mediciones fue de mayo a diciembre de 1990, por lo que faltaron siete eventos de lluvias superiores a 10 mm/d en abril. Debido a la fuerte época seca de enero, febrero y marzo, la ausencia de mediciones en estos meses no es importante. Estos siete eventos corresponden aproximadamente a un 10% de las lluvias erosivas. Tomando en consideración que, debido a la baja humedad que antecedió a estas primeras tormentas, la escorrentía no puede haber llegado a valores muy altos, un factor de corrección de 1.1 de las pérdidas medidas parece una estimación razonable y eleva así los valores medidos a los siguientes valores corregidos:

	Café con sombra (kg/ha)	Café sin sombra (kg/ha)	Pasto (kg/ha)
Medición	1 363.6	167.9	339.4
Valor corregido	1 500.0	184.7	373.3

Sin embargo, esta corrección no resuelve la gran diferencia entre las observaciones y la EUPS.

- Las lluvias en 1990 no llegaron a valores muy elevados, y faltan los eventos catastróficos con períodos de retorno muy largos que, en una sola ocasión, pueden causar más daño que todos los eventos analizados, o sea que el factor R de 255 unidades sobreestima el potencial erosivo para 1990.
- Los valores de K (suelo muy bajo), C (coberturas relativamente densas) y P (prácticas de conservación) se encuentran dentro del rango de los valores de calibración de la EUPS. Se utilizaron siempre estimaciones conservadoras en el momento de determinarlos.
- El valor de LS (pendiente) está totalmente fuera del rango de calibración de la EUPS. El último valor calibrado para una pendiente con una longitud de

22.1 m existe para una inclinación del 20% y llega a sólo 3.2 unidades, mientras el valor para 55% - 60% llega a 15 unidades, sobrepasando casi por el factor 5 los valores dentro del rango calibrado.

- La EUPS sólo analiza la movilización de partículas y no la sedimentación, la que, a mayor longitud de pendiente, desempeña un papel cada vez más importante. Sin embargo, al haber utilizado parcelas de igual longitud que las originales de la calibración de la EUPS, se debería haber llegado a valores parecidos.

Por lo tanto, se concluye que el problema mayor de la aplicación de la EUPS en zonas de relieve fuerte es el factor LS, totalmente fuera del rango de la calibración.

Otro resultado interesante del estudio es la baja pérdida de suelos en el pasto. Este, aunque tenga los valores mayores de escorrentía superficial y presente una cierta degradación por terracetos, protege el suelo con su cobertura casi total de una manera muy eficiente contra la erosión laminar.

Las tasas analizadas, relativamente bajas en erosión, todavía son preocupantes. Según lo que Bork (2) indicó para Europa, en terrenos bajo uso agrícola, la formación del mismo suelo es casi nula. Es decir, que cualquier erosión necesariamente produce una degradación del suelo, porque no existe una recuperación, y el concepto de una "erosión permisible", muchas veces aplicado, es irreal y carece de base científica.

Finalmente, la erosión analizada es sólo la erosión laminar, y no es posible derivar de este estudio conclusiones con respecto a otras formas de la degradación de suelos, como erosión concentrada y formación de cárcavas, pérdidas de suelos por deslizamientos, reptación, pisoteo, entre otros.

#### CONCLUSIONES

- Los valores medidos de la escorrentía superficial y de la pérdida de suelos por erosión laminar resultan muy bajos.
- La aplicación de la EUPS produce, especialmente en zonas con pendientes fuertes, valores que sobrepasan los reales por órdenes de magnitud. Este problema aparentemente es producto de un factor LS que sale totalmente de su rango de calibración. Por lo tanto, los estudios en que se aplicó la EUPS en zonas de pendientes fuertes requieren una revisión profunda.

- Hacen falta más mediciones en el campo, en parcelas con otros cultivos, en otras pendientes, con otras características climáticas, y con otros suelos, para así llegar a valores más confiables en cuanto a la erosión laminar.
- El proceso de erosión, aunque sea más lento que lo esperado, siempre degrada los suelos, supuestamente en una manera irrecuperable para uso agrí-

cola. Por lo tanto, aunque las tasas de erosión observadas sean relativamente bajas, siempre hace falta una adecuada protección de los suelos, la cual no necesariamente significa la instalación y puesta en funcionamiento de más obras físicas como acequias de ladera y otras, sino que puede consistir simplemente en una cobertura más completa y permanente del suelo dentro de los cultivos y para prevenir la compactación del suelo.

#### LITERATURA CITADA

1. AMEZQUITA, C.E.; FORSYTHE, W.M. 1975. Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos en Turrialba, Costa Rica. 30 p. (Mimeografía).
2. BORK, H.R. 1989. Bodenerosion und umwelt. Braunschweig. 249 p.
3. DERCKSEN, P.; JEFFERY, P.; SONNENVELD, B.; VASQUEZ, A. 1989. Erosión hídrica en Costa Rica.
4. DUNNE, T.; LEOPOLD, L. 1978. Water in environmental planning. New York, Freeman. 818 p.
5. KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. 1984. Erosión de suelos. Trad. por José Hurtado Vega. México, D.F., Limusa. 375 p.
6. MORA, I. 1987. Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS): Aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del río Pejibaye, Vertiente Atlántica, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba. 104 p.
7. PALACIOS, G.; ALFARO, M. 1991. Pérdida de suelo y procesos degradacionales en la microcuenca de la Quebrada Pital. Tesis Lic. Heredia, C.R., Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Geográficas. 139 p.
8. STOCKING, M. 1987. Measuring land degradation. In Land degradation and society. P. Blaikie, H. Brookfield (Eds.). London, Methuen. 296 p.
9. VAHRSON, W.G. 1990. El potencial erosivo de las lluvias en Costa Rica, América Central. Agronomía Costarricense 14(1). (En prensa).
10. WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. USDA. Agriculture Handbook no. 537.