

ERODABILIDAD Y EROSION HIDRICA POTENCIAL EN UN SECTOR DE LA CUENCA DEL RIO OTUN - COLOMBIA

Edgar Madero ¹ - Eelco Bergsma ²

COMPENDIO

Las pruebas de erodabilidad consideradas (terrón, agujero, manipulación o textura, aceptación de lluvia, efecto torsional, pérdida de suelo real y con pendiente del 9%, surcamiento) tienen relación con las pérdidas de suelo en lo referente a Material Erodable y a Volumen de Flujo Superficial; no pretenden cuantificar las pérdidas actuales o potenciales de un lugar, pero pueden servir como estimativos de la variabilidad del factor K en función de la labranza, del contenido de grava superficial, del estado de humedad del suelo y del tiempo. Para predecir el avance de la erosión laminar en porciones de suelo desnudo, Bergsma (1989) propuso un sistema semicuantitativo, cuyo principio consiste en determinar la frecuencia de aparición de seis rasgos microtopográficos superficiales después de cada lluvia y a partir de la última labor de preparación: pedrs resistentes, superficies erodadas, superficies de flujo, presurcos y surcos, depresiones y vegetación o piedras; la extensión de cada rasgo no pasa de 25 cm. La densidad mínima de observaciones demostró el valor práctico de las pruebas de erodabilidad requiriéndose no más de tres repeticiones por unidad de manejo. Hubo mayor proporción de suelos (8 de 12) con baja erodabilidad. La evolución de los rasgos microtopográficos superficiales reveló que en maíz, frijol y pasto de corte aumentaron paulatinamente las superficies de flujo y los presurcos; la tendencia en cebolla fue similar pero con incremento relativo de los surcos. Los sistemas de cultivo de frijol y pasto de corte fueron los de menor riesgo de erosión hídrica dado que permitieron poca pérdida de suelo en los terrenos mas inestables; los de maíz y cebolla permitieron el mayor avance de la erosión en los suelos mas estables.

Palabras clave: Material erodable, Flujo superficial, Rasgos microtopográficos, Superficies de flujo, Superficies erodadas.

ABSTRACT

The present research seeks to determine the applicability of simple, rapid and economic methods for comparing the soil erodability under twelve cultivation systems, and besides to record the features of rill erosion under ale crops in the watershed area of the Otún river. Here the denudation processes are common and affect a large portion of the area. The erodability tests considered (crumb, pinhole, manipulation, rain acceptance, soil loss, shear strenght) are related to soil loss with reference to erodable material and the volume of surface flow. These do not seek to quantify the actual or potential soil loss of a place, but can help in the estimation of the variability of soil erodability with the content of surface gravel, the state soil moisture content and time. To predict the advance of rill and interrill erosion in bare soil, Bergsma (1989) developed a semicuantitative system with this purpose, and what is related to the presence and frequency of six microtopography soil surface features after each rain and at the end of tillage: original clods, eroding clods, depressional areas, linear flow pattern of shallow channels and deeper rills, and coverage (vegetation, gravel, etc.); each feature has a length less than 25 cm. The erodability tests demonstrate their practical value with no more than three repetitions per unit of management. There was more soils (8/12) with low erodability. The evolution of microtopograhly soil surface features showed that corn, bean and grass increased depressional areas and shallow channels; the tendency in onion was similar but with a relativity increase in deeper rills. Bean and grass crops were the less erosion hazard uses because they let a few loss of soil at the more inestable terrains. Contrary, corn and onion are not the most recomendable uses because they allowed the biggest advance of erosion in the most stable soils.

Keywords: Soil erodability, Rain erosion, Tropical watershed.

¹ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. A.A. 237.; ² Profesor Adjunto ITC - Holanda, Fax 053-874400.

INTRODUCCION

La predicción de la pérdida de suelo y el daño causado por la erosión hídrica es tarea difícil, solamente se tiene un método predictivo, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo - USLE, que se basa en abundantes datos experimentales y en hipótesis propias para USA (Wischmeier y Smith, 1978). Aunque la mayoría de los países disponen de algunos datos experimentales para aceptar, modificar o rechazar el método USLE, otras adaptaciones no se han calibrado para muchas áreas, y tiene la desventaja de requerir datos que no están disponibles o que se obtienen a altos costos y para pocos terrenos.

En Colombia el tema de predecir y cuantificar la pérdida de suelo en laderas cultivadas se ha abordado por diferentes entidades: INDERENA realizó el primer mapa de erosión a escala nacional (INDERENA, 1975); ICA ha realizado estudios siguiendo la metodología USLE en los departamentos de Caquetá y Meta (ICA, 1984); FEDECAFE ideó un Índice de Uso y Manejo para reconocer la susceptibilidad de los terrenos a la erosión (FEDECAFE, 1982). IGAC incluye en sus estudios una calificación cualitativa acerca del riesgo de erosión hídrica superficial (IGAC, 1975).

Finalmente CIAT (Howeler, 1985; Reining, 1992) emprendió desde la década pasada un importante proyecto en laderas en colaboración con otras instituciones y la comunidad en un área del Cauca, para trabajar en dos campos: a) Investigación básica en erosión hídrica analizando aspectos de microvariabilidad espacial y extendiendo resultados mediante sistemas de información geográficos, y b) Implantación de sistemas de manejo sostenible en laderas considerando como componente esencial el aspecto cultural de las sociedades involucradas en las cuencas.

Aunque se avanza en este campo, el problema no se ha abordado a nivel nacional, en parte por la ausencia de compromiso individual con el cuidado del ambiente, en parte debido al alto costo inicial, en parte por lo heterogéneo del territorio física y culturalmente, y en parte por falta de una tecnología versátil y adaptada al trópico para predecir confiablemente el riesgo de erosión en los diferentes usos y manejos.

La investigación implantó una metodología para estimar la erodabilidad relativa (Bergsma, 1988) y otra para cuantificar los rasgos de la erosión laminar en cultivos en hilera, utilizando pruebas simples, rápidas y de bajo costo (Bergsma, 1989). Este tipo de estudios ofrece resultados semicuantitativos como base para tomar medidas prácticas de uso y manejo de los

terrenos de una cuenca hidrográfica, y no pretendió cartografiar las propiedades estudiadas.

METODOLOGIA

Características del área

Se escogió la subcuenca Volcanes con un área aproximada de 2000 ha, de la cuenca del Río Otún que abastece al acueducto de la ciudad de Pereira, (Capital del Departamento de Risaralda-Colombia); las pendientes son escarpadas y se están talando sus bosques para cultivarlos intensamente con cebolla y en menor escala con maíz y frijol. Los paisajes dominantes son montañas de diabasas y gabros a una altura entre 2000 y 3600 m y abanicos fluviovolcánicos de diferentes edades hasta 1700 m que sepultan conglomerados, limolitas y pizarras (*Figura 1*). El transecto está cubierto por cenizas volcánicas y algo de vidrio volcánico especialmente por encima de 2800 m. Se encuentran cuatro consociaciones (León, 1985) cuyo contenido pedológico corregido es: Hydric Hapluland medial isotérmico y Typic Haplaquand medial isotérmico en las partes más altas de la subcuenca, y Alic Hapludand esquelético medial isotérmico con Typic Hapludand esquelético medial isotérmico en las partes medias y bajas (*Figura 1*). Los procesos denudativos son comunes y afectan gran parte de la zona, destacándose remoción en masa, deslizamientos y erosión hídrica.

La cuenca presenta un balance hídrico con las siguientes características: clima lluvioso de montaña con precipitaciones por encima de 2000 mm/año en alturas superiores a los 1400 msnm. Las localidades más lluviosas registran alrededor de 3000 mm/año. La erosividad más probable está entre 4500 y 7000 tm. mm/ha.h.año considerada de baja a media (Guzmán y Jaramillo, 1989). El régimen de precipitación es bimodal (marzo a mayo y septiembre a noviembre); los mayores volúmenes de lluvia ocurren entre los 1400 y 1600 msnm, y también hacia los 2000 msnm; el balance hídrico muestra poca o ninguna deficiencia de agua durante el año.

La temperatura disminuye a razón de 0.85°C por cada 100 metros de elevación. La variación de la temperatura media es muy pequeña entre los meses del año, su oscilación durante el día es alta y puede ir desde 17 hasta 33°C. Este clima no propicia la deshidratación de estos suelos.

Selección de los sitios

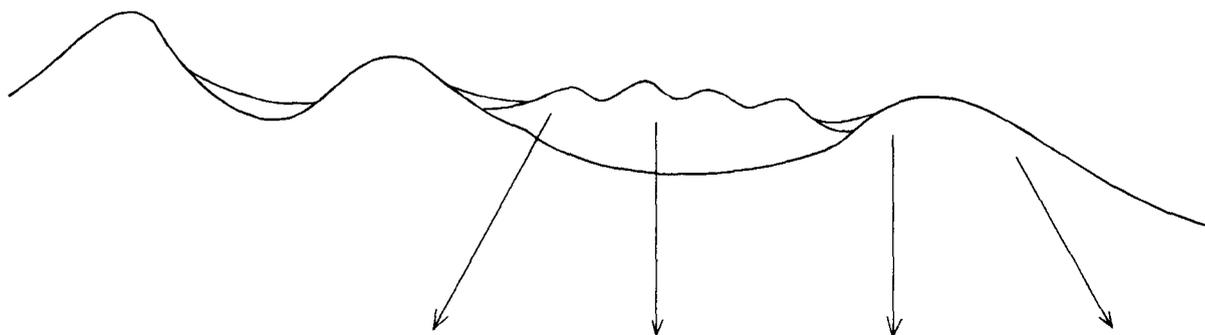
Se escogieron lotes cultivados sobre laderas fuertemente escarpadas (50% de inclinación) por correspon-

Figura 1. Suelos más representativos del transecto.

Montañas complejas de esquistos y lavas con cobertura discontinuas de lavas volcánicas.

Planicie antigua de piedemonte. Coluvios y abanicos menores fluviovolcánicos con recubrimiento de ceniza volcánica.

Montañas denudativas. Complejos de lavas, andesitas y diabasas con recubrimiento de ceniza volcánica.



CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA TENTATIVA CUALIDADES DEL TERRENO	HYDRIC HAPLUDAND MEDIAL ISOTÉRMICO	TYPIC HAPLAQUAND MEDIAL ISOTÉRMICO	ALLIC HAPLUDAND ESQUELETAL MEDIAL ISOTÉRMICO	TYPIC HAPLUDAND ESQUELETAL MEDIAL ISOTÉRMICO
Perméabilidad estimada	Semipermeable	Semipermeable	Permeable	Muy permeable
Almacenamiento de humedad estimado	Alto	Alto	Medio	Medio
Suceptibilidad a la erosión hídrica	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta
Fertilidad general	Moderada	Alta	Moderada	Alta
Capacidad enraizamiento	Alta	Muy alta	Muy alta	Moderada
Clase de pendiente simple	Semipermeable	Moderadamente escarpada	Muy escarpada	Muy escarpada

der a las pendientes máximas con uso agropecuario intensivo.

En las pruebas de erodabilidad se seleccionaron doce usos para hacer confiable la calificación relativa (Bergsma, 1988); las pruebas en el cultivo de maíz se realizaron en época de lluvias y en verano por considerar que la cobertura del terreno variaba marcadamente; en el cultivo de la cebolla se hicieron en un lote con gallinaza recién aplicada y en otro con meses de incorporada, de forma que se analizaron como cuatro casos diferentes.

Debido a que la evaluación de las pruebas de protección de los cultivos contra la erosión, implica un seguimiento a través del tiempo, se escogieron cuatro usos contrastantes maíz, frijol, cebolla y pasto de corte.

Sistemas de cultivo seleccionados

- Los cultivos mas tecnificados son las hortalizas y el café, cuentan con adecuada preparación de los lechos de semillas y raíces basado en la incorporación de grandes cantidades de gallinaza y ferti-

lizantes minerales; también con control intensivo de malezas, plagas y enfermedades.

En frijol, alverja y tomate es frecuente el uso de tutores; las producciones por cosecha suelen ser altas.

Pasto de corte, maíz y yuca se siembran y cultivan con relativamente menos cuidados; la fertilización es predominantemente con úrea o con fertilizantes propios para café, en bajas cantidades. Las densidades de siembra son bajas, el cuidado del cultivo y el control de las malezas es precario.

- El pasto de corte se escogió teniendo en cuenta que entre plantas quedan grandes espacios libres con suelo desnudo, dado que se siembra semilla vegetativa, dejando 0.5 m entre plantas.

El cultivo de la yuca está hecho sobre el subsuelo, es decir, que se evaluó en uno de los terrenos más erosionados de la microcuenca.

En el lote con frijol se hallaba a 15 días de germinado, con siembra pendiente abajo y desmalezado a mano, lo cual deja considerable cobertura al lado de las plantas pero grandes porciones de suelo desnudo.

El lote con tomate se estudió asociado con granadilla, para la que se habían hecho ramadas de dos metros de altura con siembra intercalada de tomate de tal forma que quedaba parcialmente sombreado. En otros terrenos donde había tomate fué visible severa erosión laminar.

La cebolla lleva más de 30 años en estos lotes; al año se sacan cuatro cosechas con aportes de gallinaza muy altos (50 a 200 t/ha/año). Esta "capa" de abono orgánico dura aproximadamente un semestre y se va perdiendo por mineralización y erosión hídrica.

Densidad mínima de observaciones

Para determinar la densidad mínima de observaciones se estableció una red de 12 puntos de muestreo, distanciados 10 m. Hubo una en maíz, otra en frijol y otra en cebolla, todas sobre Typic Hapludand esqueletal isotérmico. El experimento se realizó en época de pocas lluvias

para medir con mayor exactitud la erodabilidad en función del manejo del suelo. Los resultados se analizaron estadísticamente mediante sus parámetros normales; la densidad de observaciones a través de la distribución t y límites de confianza, y la comparación entre pruebas empleando la prueba T.

Pruebas de erodabilidad

Terrón: Tres pequeños agregados de aproximadamente 2 cm de diámetro y secos al aire, se sumergen cuidadosamente en agua limpia (50cm³) a 20°C.

La deformación por lavado, expansión y explosión del aire comprimido después de 5 a 10 minutos se clasifican de la siguiente manera:

Clase 1: Como ausencia de cambio.

Clase 2: Algún colapso.

Clase 3: Algunos remanentes estables o colapso parcial.

Clase 4: Colapso completo.

La prueba mide la estabilidad del agregado seco al humedecimiento e indica la sensibilidad del suelo al sellamiento.

Agujero: Se moldea un dado de 2 cm de lado, con suelos en el punto de pegajosidad y se conduce agua limpia (50 cm³) a través de un hueco de 1mm de diámetro. El color que toma el agua debido a la dispersión de la arcilla y la cantidad de erosión que sufre el dado, se clasifican como:

Cuadro 1. Formas de manipulación en las pruebas de erodabilidad.

FORMA	TEXTURA GENERAL	CLASE DE DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL ERODABLE
Un simple montón	Arenosa (A)	7
Una tableta	Arenosa Franca (AF)	6
Un rollo de 10cm con grietas	Franco Arenosa (FA)	5
Un rollo de 10cm sin grietas	Franca (F)	4
Una herradura con grietas	Franco Arcillosa (FAr)	3
Una herradura sin grietas	Arcillosa media (Arm)	2
Un anillo	Arcillosa (Ar)	1

Clase 1: Agua clara y ausencia de erosión en el hueco.

Clase 2: Alguna suspensión, pequeña erosión.

Clase 3: Suspensión y erosión evidentes.

Clase 4: Agua turbia, fuerte erosión y colapso del dado.

La prueba da buena estimación de la estabilidad estructural de los agregados del suelo especialmente contra la formación de surcos.

Manipulación: Con 2 cm³ de suelo en el límite plástico, se trata de hacer la forma más compleja entre las que se definen en el cuadro 1.

Los resultados son evidencia seria de la estabilidad estructural en lo que se refiere a disponibilidad de material para la erosión en surcos.

Aceptación de lluvia: Desde un frasco perforado a una distancia aproximada de 30 cm, se liberan 24 mm de lluvia artificial. Un cilindro metálico (10 cm de diámetro y 15 cm de altura) limita el área del suelo que recibe la lluvia. El procedimiento se repite durante 10 minutos con intervalo de dos minutos entre aplicaciones.

La prueba advierte sobre la susceptibilidad del suelo al sellamiento y da alguna indicación de su permeabilidad.

Pérdida de suelo: Sobre una parcela de suelo desnudo (30 x 30 cms) y con inclinación del 9%, se simula la lluvia durante 40 segundos a una altura de

30 cm, mediante un recipiente perforado que contiene 600 cm³ (12 cm de altura por 8 cm de diámetro). El flujo superficial se recibe en una bandeja colocada en la parte más baja y la prueba se repite hasta que se obtenga pérdida de suelo; se mide el agua y el sedimento colectado.

La prueba da evidencia de la erodabilidad laminar y de la susceptibilidad del suelo al sellamiento.

Surcamiento: En la parcela se insertan dos reglas plásticas en la dirección de la pendiente, separadas 4 cm. De un cubo plástico se dejan salir rápidamente hacia el canal, 600 cm³. Se colecta el agua y el sedimento derivados de esta imitación de flujo por surcos. El procedimiento se repite en otros tres surcos de la misma parcela. El peso promedio de suelo, evidencia la estabilidad en el caso de un flujo concentrado.

Efecto torsional: En lugares sin disturbio de los canales se presiona un torcómetro (4 cuchillas, de 4 cm de alto por 2 cm de ancho) hasta 1 cm de profundidad; en 10 puntos se mide la fuerza necesaria para hacer rotar las cuchillas. El promedio determina la resistencia del suelo a formar surcos por acción del agua.

Los resultados de cada prueba en los pasos A, B y C (Figura 2) se clasifican (r) en los seis sitios mediante un tipo de transformación que se aplica a variables no paramétricas (11). En cada sitio se suman los rangos obtenidos (Sr). A esta nueva columna se le hace una nueva clasificación (rSr) y finalmente se ordena en un

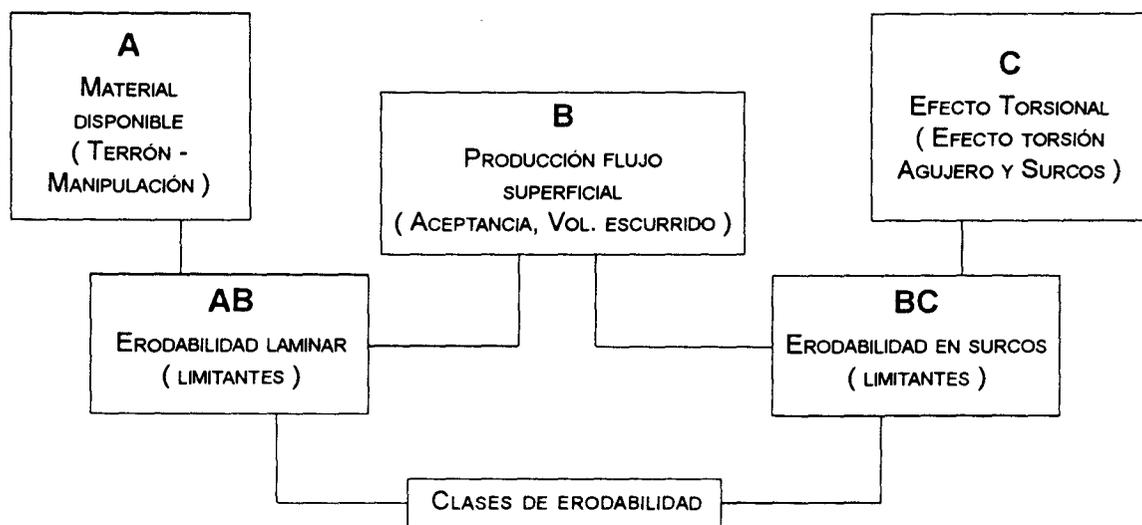


Figura 2. Esquema metodológico para efectuar las pruebas de erodabilidad

sistema cualitativo de cinco clases (Cl): Muy baja (MB), baja (B), mediana (M), alta (A) y muy alta (MA) (Con base en 12 sitios).

Para obtener AB o BC se comparan primero los rSr de A con los de B, escogiendo el más bajo para obtener así las columnas AB o BC; estos datos estarán reflejando las limitantes (lim.) a la erosión en cada sitio (m = material, f = flujo, t = torsión). En la siguiente columna se ordenan los datos (rAB o rBC) luego se clasifican cualitativamente.

Prueba de rasgos de la erosión laminar

Los rasgos del relieve y su desarrollo a través del tiempo son el resultado de todos los factores causantes de erosión hídrica, y por lo tanto correlacionan con la intensidad de la erosión pluvial. Al evaluarlos se estima con rapidez el avance de la erosión laminar en tierras arables cuando el suelo queda desnudo. El sistema semicuantitativo propuesto por Bergsma (1989) consiste en determinar la frecuencia de aparición de seis rasgos microtopográficos en terrenos cultivados, después de cada lluvia y a partir del último pase de labranza. Los registros se realizan en contorno sobre 10 m, usando una cinta métrica de 2.5 m subdividida en trechos que representan la extensión promedio de cada rasgo (0.25 m); cada registro se toma en el mismo sitio.

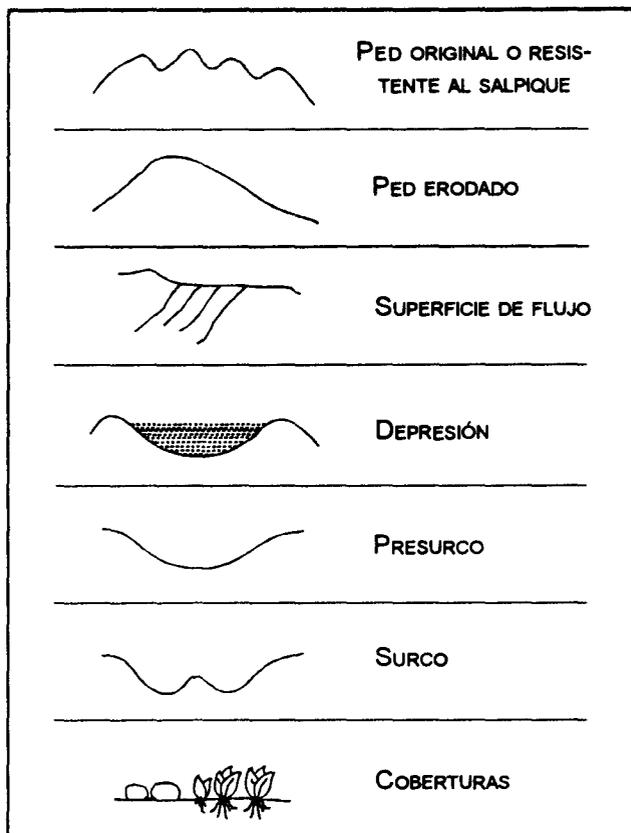


Figura 3. Rasgos superficiales de erosión laminar en suelo desnudo y cultivado

Los rasgos dominantes son seis (Ver figura 3):

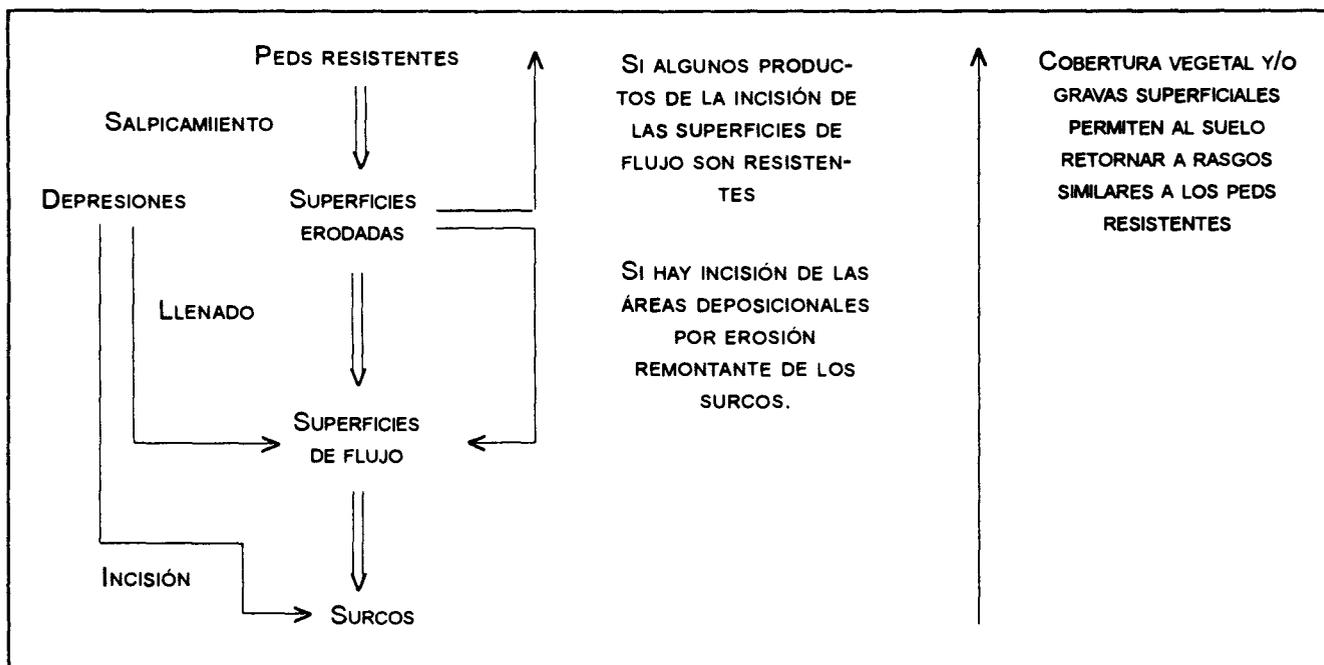


Figura 4. Patrón de desarrollo de la microtopografía de la superficie del suelo por erosión pluvial laminar.

- 1- Peds resistentes: La forma y el tamaño se derivan de las operaciones de labranza o de los procesos genéticos de estructuración del suelo.
- 2- Superficies erodadas: Son peds degradados por salpicamiento, rugosos y convexos.
- 3- Superficies de flujo: Son partes degradadas del terreno con superficie llana que puede estar encostrada o sellada, y algunas veces muestra signos de depositación.
- 4- Presurcos y surcos: Son canales superficiales suficientemente largos y profundos (30 cm) para ser vistos en el campo; y se pueden remover fácilmente por las operaciones de labranza.
- 5- Depresiones: Son más pequeños que los surcos, no tienen salida y pueden acumular material; se forman durante la preparación de la tierra o durante las operaciones para controlar malezas; se pueden convertir en un surco cuando el material del fondo se remueve por incisión.
- 6- Vegetación, piedras y fragmentos gruesos que no puede remover la erosión hídrica.

El desarrollo de estos rasgos puede seguir un patrón general de cambio de peds resistentes a peds erodados, de éstos a superficies de flujo y de éstos a canales (Figura 4).

Algunas veces pueden aparecer depresiones, que en un momento dado desaparecen por llenado con sedimentos o bien, por incisión, se convierten en superficies de flujo o en canales. La erosión remontante de un canal desarrollará una nueva superficie de erosión o un nuevo ped resistente. Al incrementar la cobertura vegetal, el proceso de erosión cesa y hasta podría hacerse reversible.

El riesgo relativo de erosión para un sistema de cultivo, se hace comparando observaciones entre diferentes puntos mediante una combinación de tres métodos: juzgamiento simple, la máxima cantidad de cambio en los rasgos de la superficie y el nivel final del más serio rasgo. En las condiciones cambiantes del ciclo de un cultivo, la evaluación del riesgo es válida si se hace con base en la última observación. Este estudio cubrió solo una fracción del ciclo de los cultivos escogidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

• NUMERO MINIMO DE REPETICIONES

Desde el punto de vista de la implantación de estas pruebas en el campo, la densidad de observa-

Cuadro 2. Pruebas de erodabilidad en tres sitios (lotes con maíz, frijol y cebolla) con red de 12 observaciones.

ORDEN	MAIZ								
	TERR	AGUJ	MAN	A.C. mm	PER. g		g		X
1	1	4	2	54	-(1)	3.2	6.4	4.8	4.8
2	2	2	2	54	10.8	3.7	3.2	3.5	3.5
3	2	2	2	47	14.9	2.6	1.6	2.1	2.1
4	2	2	2	20	14.4	2.1	2.1	1.6	1.9
5	2	2	2	20	7.4	2.6	1.6	1.6	1.9
6	2	2	2	46	-	2.6	1.6	2.1	2.1
7	1.5	3	2	44	-	2.1	2.6	2.6	2.4
8	2	3	2	57	8.0	2.1	4.2	3.2	3.2
9	2	2	2	102	8.0	1.6	1.6	1.6	1.6
10	2	3	2	77	28.8	2.6	3.2	3.2	3.0
11	2	2	2	71	12.8	4.8	2.1	2.6	3.2
12	2	3	2	45	7.4	1.6	2.1	2.1	1.9
FRIJOL									
1	2	4	3	19	9.6	1.6	1.6	1.6	1.6
2	2	4	3	37	19.2	3.7	3.2	1.6	2.8
3	2	4	3	38	20.7	3.2	1.6	3.2	2.7
4	2	4	3	21	14.9	6.9	1.6	7.4	5.3
5	2	3	3	52	19.2	9.6	6.4	2.4	6.1
6	2	4	3	51	19.2	6.2	2.4	2.4	2.7
7	2	3.5	3	24	14.4	2.1	2.6	2.1	2.3
8	1.5	1.5	2	26	-	1.6	3.7	1.6	2.3
9	2	3	3	39	.	2.1	3.7	4.2	3.3
10	2	2	3	73	-	4.8	3.7	4.8	4.4
11	2	2	3	26	9.0	3.2	3.2	2.6	3.0
12	2	3	3	77	14.4	3.7	3.7	2.6	3.3
CEBOLLA									
1	2	2	3	102	20.8	2.0	4.8	2.1	3.00
2	2	3	3	128	24.0	9.6	13.3	5.9	9.60
3	2	3	3	102	11.7	2.1	3.2	3.7	3.01
4	2	2	1	102	-	2.7	2.1	1.6	2.10
5	2	2	3	77	5.9	3.2	2.7	3.7	3.20
6	2	3	1	67	-	4.3	2.1	2.7	3.00
7	2	2	1	77	11.7	4.3	2.7	8.5	5.20
8	2	2	3	38	4.3	3.2	4.3	5.3	4.30
9	2	2	3	102	-	7.4	6.9	6.9	7.10
10	2	2	3	102	9.6	5.3	12.8	10.1	9.40
11	2	1	3	62	15.4	5.8	6.9	7.4	6.70
12	2	1	3	102	11.2	6.4	6.4	9.7	10.8

Cuadro 3. Estadísticas y densidades de observación para seis pruebas de erodabilidad en un Andosol con tres usos

ESTADÍSTICA	MAIZ					
	TERR.	AGUJ.	MAN.	Ac. mm	Per. g	Sur. g
x	2 a	2.5 ab	2b	57 b	12.5 b	2.6
σ (n-1)	0	0.67	0	20	6.8	0.9
σ/x (%)	0	27	0	35	54	35.0
I.C.B.	1.7	2.4	2	48.9	9.2	2.4
I.C.A.	2.0	2.8	2	65.5	15.7	2.8
DENS. OBS. P < 0.20*	1.0	1.6	1	2.8	6.8	2.3
FRIJOL						
X	2 a	3.2 ab	3 a	40 a	15.6 a	3.3
σ (n-1)	0	0.9	0	19	4.3	1.3
σ/x (%)	0	28	0	47	27	39
I.C.B.	1.9	2.8	2.8	32.3	13.5	2.9
I.C.A.	2.0	3.5	3.0	48.1	17.6	3.6
DENS. OBS. P < 0.20*	1	1.8	1	5.1	1.7	4
ALGODON						
X	2 a	2 cb	2.5 a	88 a	13 b	5.3
σ (n-1)	0	0.67	0.9	24	6.4	3.0
σ/x (%)	0	33	36	27	49	54
I.C.B.	2	1.8	2.1	78.4	9.6	4.7
I.C.A.	2	2.3	2.8	98.3	15.8	5.9
DENS. OBS. P < 0.20*	1	2.2	2.8	1.7	5.9	4.4

La P<0.20 es suficiente cuando se trata de evaluación de suelos.
Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes (P Z 0.05).

LAS CONVENCIONES PARA LOS CUADROS 2 Y 3 SON :

- TERR. : TERRÓN
- AGUJ. : AGUJERO
- MAN. : MANIPULACIÓN
- PER. : PÉRDIDA DE SUELO
- CA. : ACEPTACIÓN (CC)
- SUR. : PÉRDIDA DE SUELO EN SURCOS (g)
- I. C. B. : INTERVALO DE CONFIANZA BAJO
- I. C. A. : INTERVALO DE CONFIANZA ALTO

ciones requerida en cada sitio fue en general razonable; hubo excepciones como con la prueba de pérdida de suelo que alcanzó valores muy altos en dos de los sitios y la de aceptación en uno de ellos (Cuadros 2 y 3). En este último caso los resultados variaron algo dependiendo de si se realiza en microsuperficie de acumulación o en una erodada, y en el caso de la prueba de pérdida de suelo, se requiere disturbar el suelo para poder fabricar una superficie con 9% de inclinación. Sin embargo, fue en la parcela con frijol donde hubo estas discrepancias con las pruebas mencionadas (Cuadro 3); allí el suelo mostró menor aceptación relativa de lluvia y mayor desprendimiento de partículas al paso del agua, es decir que en suelos de discreta estabilidad estructural tiende a decrecer la confiabilidad de los resultados de una prueba y a incrementarse los de la otra respectivamente, como lo demuestran sus coeficientes de variación.

Tres pruebas (Terrón, manipulación y surcos) se pueden estimar confiablemente (P<0.20) con una sola observación, una (Agujero) exige mínimo dos y dos (Aceptación de la lluvia y pérdida de suelo) necesitan por lo menos de tres chequeos (Cuadro 4).

Los resultados reflejan el valor práctico de pruebas de erodabilidad, ya que es posible realizarlas con el número de replicaciones propuesto. Conviene aclarar que ensayos como el presente se deben realizar en otros suelos, pues no será confiable su extrapolación libre.

• ERODABILIDAD

En ocho de los doce suelos la erodabilidad laminar fue de moderada a muy baja (Cuadros 5, 6a, 6b, 6c, 7a y 7b); los cuatro restantes estaban en barbecho o con cultivos poco protectores como yuca, alverja y frijol. En frijol las franjas de suelo desnudo presentaron muy alta erodabilidad laminar.

En siete suelos la erodabilidad en surcos estuvo entre moderada y muy baja y los más susceptibles fueron los cultivados en café, repollo, tomate, alverja y frijol; es decir, aquellos que las labores de cultivos disturban continuamente sin grandes adiciones de abonos orgánicos.

Los suelos más resistentes a la erosión hídrica laminar, presentaron las siguientes características generales: poco colapso al sumergir los agregados secos en agua, texturas finas; baja a moderada cantidad de suelo erodado cuando recibió una lluvia simulada fuerte; relativamente alta aceptación de lluvia, aunque algunas veces el volumen de agua escurrido fue alto, y muy baja resistencia estructural frente al esfuerzo torsional.

Cuadro 3. Mínimo número de observaciones para seis pruebas de erodabilidad en un Andosol de Pereira (P < 0.20)

Parámetros	Terrón	Agujero	Manipul.	Aceptan.	Pérdida.	Surcos
Densidad mínima	1	1.5	1	3	3	1
Estimaciones realizadas	108	36	36	36	27	108
Interv.Conf. Bajo	-	2.4	-	56.6	12.2	-
Interv.Conf.Alto	-	2.7	-	67.3	14.9	-

Los suelos más resistentes a la formación de surcos, presentaron las siguientes características:

Poco colapso al sumergir los agregados en agua; mediana a alta cantidad de suelo arrastrado en flujo cuando recibió lluvia fuerte simulada; moderada aceptación de lluvia y moderado volumen escurrido superficialmente; y con dos excepciones, el limitante más común fue la resistencia al esfuerzo torsional.

• ERODABILIDAD RELATIVA

En promedio los resultados de las pruebas reportaron moderada erodabilidad. A pesar de la fuerte pendiente, la ceniza volcánica y la gran cantidad de humus presente, han permitido el desarrollo de un suelo con buena estabilidad estructural en un ambiente con óptimo balance hídrico.

- En el cultivo de cebolla que acaba de recibir fuertes aportes de gallinaza se fortalece el suelo frente a la acción de la lluvia, lo cual se refleja en el decrecimiento del flujo superficial.
- En el suelo sembrado en maíz se presentó una de las erodabilidades más bajas, quizás porque no ha sido trabajado tan intensivamente. En la medición en época de lluvias, el aumento en la disponibilidad de material y en la susceptibilidad al efecto torsional, se equilibró con la baja producción de flujo superficial y de pérdida de suelo.
- El suelo en pasto de corte, de acuerdo con su textura franco arenosa y con el pequeño colapso que presentó al agua, se clasificó con muy alta potencialidad de desprender partículas en las lluvias. Sin embargo, como la especie extiende rápidamente gran cantidad de raíces muy finas en Y cerca

Cuadro 5. Pruebas de erodabilidad en la microcuenca volcanes del Río Otún - Colombia (1991-1992).

USO ACTUAL	TERRÓN	AGUJERO	MANIPULACIÓN	ACEPTACIÓN (mm)	PÉRDIDA		SURCOS (ml)	TORCÓMETRO
					AGUA (ml)	SUELOS (g)		
Cebolla recién abonada	2	2	3	96	205	10.3	5.6	0.60
Cebolla desmalezada	1	2	2.5	88	288	6.1	2.3	0.91
Pasto de corte	2	1	5	64	280	4.5	1.1	1.01
Maíz en invierno	1	3	4	63	146	4.4	3.0	0.89
Maíz en verano	2	2	2	63	215	10.1	2.6	1.14
Repollo	2	2.5	2	96	323	6.2	6.0	1.86
Barbecho/potrero	2.5	3	2	75	369	13.6	2.2	1.90
Tomate y granadilla	2	1.5	2	61	300	5.4	11.2	0.82
Yuca	2	1.5	3	28	401	10.7	5.3	1.00
Café	2	2.5	2	50	240	7.8	6.0	0.49
Alverja	3	1.5	1	27	320	15.7	13.3	0.95
Frijol	2	3	3	40	227	12.8	3.3	0.64

Cuadro 6a. Evaluación del material disponible para la erosión mediante el ranqueo de datos 1991 - 1992

USO ACTUAL	TERRÓN	RANQUEO	MANIP.	RANQUEO	Σr	RANQUEO DE Σr	CLASE
Cebolla recién abonada	2	6.5	3	9	15.5	10	MA
Cebolla desmalezada	1	1.5	2.5	7	8.5	1	MB
Pasto de corte	2	6.5	5	12	18.5	12	MA
Maíz en lluvias	1	1.5	4	11	12.5	6	M
Maíz en verano	2	6.5	2	4	10.5	3.5	B
Repollo	2	6.5	2	4	10.5	3.5	B
Barbecho/potrero	2.5	11	2	4	15	8	A
Tomate y Granadilla	2	6.5	2	4	10.5	3.5	B
Yuca	2	6.5	3	9	15.5	10	MA
Café	2	6.5	2	4	10.5	3.5	B
Alverja	3	12	1	1	13	7	M
Frijol	2	6.5	3	9	15.5	10	MA

Cuadro 6b. Evaluación del material disponible para flujo superficial mediante el ranqueo de datos 1991 - 1992

USO ACTUAL	ACEP.	RANQUEO	VOL. AGUA	RANQUEO	Σr	RANQUEO DE Σr	CLASE
Cebolla recién abonada	96	1.5	205	2	3.5	1	MB
Cebolla desmalezada	88	3	288	7	10	4	B
Pasto de corte	64	6.5	280	6	12.5	6	M
Maíz en lluvias	63	6.5	146.6	1	7.5	2	MB
Maíz en verano	63	6.5	215	3	9.5	3	B
Repollo	96	1.5	323	10	11.5	5	B
Barbecho/potrero	75	4	369	11	15	10	MA
Tomate y Granadilla	61	6.5	300	8	14.5	8	A
Yuca	28	11.5	401	12	23.5	12	MA
Café	50	9	240	5	14	8	A
Alverja	27	11.5	320	9	20.5	11	MA
Frijol	40	10	227	4	14	8	A

Cuadro 6c. Evaluación del material disponible para efecto torsional mediante el ranqueo de datos 1991 - 1992

USO ACTUAL	AGUJERO	RANQUEO	SURCO	RANQUEO	TORC.	RANQUEO	Σr	RANQUEO DE Σr	CLASE
Cebolla recién abonada	2	6.0	5.6	8.00	0.60	11	25	10	MA
Cebolla desmalezada	2	6.0	2.3	3.00	0.91	7	16	5	B
Pasto de corte	1	1.0	1.1	1.00	1.01	4	6	1	MB
Maíz en lluvias	3	11.0	3.0	5.00	0.89	8	24	9	A
Maíz en verano	2	6.0	2.6	4.00	1.14	3	13	2	MB
Repollo	2.5	8.5	6.0	9.50	1.86	2	20	6	M
Barbecho/potrero	3 11	2.2	2.0	1.90	1.00	14	3	B	
Tomate y Granadilla	1.5	3.0	11.2	11.00	.82	9	23	8	A
Yuca	1.5	3.0	5.3	7.00	1.00	5	15	4	B
Café	2.5	8.5	6.0	9.50	.49	12	30	12	MA
Alverja	1.5	3.0	13.3	12.00	.95	6	21	7	M
Frijol	3	11.0	3.3	6.00	0.64	10	27	11	MA

**Cuadro 7a. Estimación de la Erodabilidad laminar
1991 - 1992**

USO ACTUAL	A y B ERODABILIDAD LAMINAR							
	A B	LIMITANTE	RANQUEO A B	CLASE	PÉRDIDA	RANQUEO	CLASE	Δ
Cebolla recién abonada	1	flujo	1.5	MB	10.3	8	A	tres
Cebolla desmalezada	1	material	1.5	MB	6.1	4	B	uno
Pasto de corte	6	flujo	8	A	4.5	2	MB	tres
Maíz en lluvias	2	flujo	3	B	4.4	1	MB	uno
Maíz en verano	3	flujo	5.5	B+	10.1	7	M	uno
Repollo	3.5	material	5.5	B+	6.2	5	B	igual
Arbecho/potrero	8	material	10.5	MA	13.6	1	MA	igual
Tomate y Granadilla	3.5	material	5.5	B+	5.4	3	B	igual
Yuca	10	material	12	MA	10.7	9	A	uno
Café	3.5	material	5.5	B+	7.8	6	M	uno
Arveja	7	material	9	A	15.7	12	MA	uno
Frijol	8	flujo	10.5	MA	12.8	10	MA	igual

**Cuadro 7a. Estimación de la Erodabilidad en surcos
1991 - 1992**

USO ACTUAL	B y C ERODABILIDAD EN SURCOS				ERODABILIDAD FINAL	
	B C	LIMITANTE	RANQUEO	CLASE	LAMINAR	SURCOS
Cebolla recién abonada	1	flujo	1.5	MB	Muy baja	Muy baja
Cebolla desmalezada	4	flujo	6.5	M	Muy baja	Media
Pasto de corte	1	torsión	1.5	MB	Media	Muy baja
Maíz en lluvias	2	flujo	3.5	B	Baja	Baja
Maíz en verano	2	torsión	3.5	B	Media	Baja
Repollo	5	flujo	8	A	Baja	Alta
arbecho/potrero	3	torsión	5	B+	Muy alta	Baja
Tomate y Granadilla	8	flujo y torsión	11	MA	Baja	Muy alta
Yuca	4	torsión	6.5	M	Alta	Media
Café	8	flujo	11	MA	Media	Muy alta
Arveja	7	torsión	9	A+	Alta	Alta
Frijol	8	flujo	11	MA	Muy alta	Muy alta

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Muy Baja		Baja			Media		Alta		Muy Alta		

de la superficie, conforma una red entre grupos de plantas que retiene los agregados del suelo.

Por esta razón la cantidad de sedimento obtenida fué muy baja. Este resultado está en pleno acuerdo tanto con la mayor resistencia a la torsión como con la producción de flujo superficial. Así, también se explica su moderada erodabilidad laminar y muy baja erodabilidad en surcos:

- a) En el suelo sembrado en repollo, la ausencia de material para la erosión, la escasa producción de escorrentía y la alta aceptación fueron indicios de su baja erodabilidad laminar. No obstante, debido a la pérdida de suelo relativamente alta en las pruebas de surcabilidad y agujero, se considera que quedó con poca resistencia a formar surcos al paso del agua.
- b) El suelo en café mostró una respuesta semejante a la anterior situación, pero con riesgo de erosión ligeramente más grande.
- c) El suelo cultivado en frijol mostró poca resistencia torsional, gran cantidad de pérdida de suelo al paso del agua y alta erosión en la prueba de agujero; por estos resultados le correspondió una de las mas altas erodabilidades. La alta disponibilidad de partículas para la erosión, deducida a partir de las pruebas del terrón y de manipulación, corroboró lo expuesto.
- d) El suelo en tomate y granadilla mostró poca resistencia a formar surcos, debilidad que se manifestó

en el volumen de agua escurrido, en el material perdido en surquillos, y en la baja resistencia al cizallamiento. Esto fundamentalmente es estimulado por el cultivo de tomate.

- e) En el cultivo de yuca; el cuadro de estabilidad al agua es típico de un suelo especialmente susceptible a erodabilidad laminar, ya que es relativamente baja la aceptación de lluvia, y muy altos el volúmen escurrido y la pérdida de sedimentos.

• CUANTIFICACION DE LOS RASGOS DE LA EROSION LAMINAR

- 1) Según el «rasgo más serio de erosión» (Cuadro 8) en maíz se contabilizó mayor cantidad de peds resistentes posiblemente por la labranza superficial en contorno que utilizó el agricultor. En la parte alta de la ladera debido a su forma convexa se detectó riesgo moderado de erosión con predominancia de las superficies de flujo y erodadas; hacia las partes media y baja, donde la ladera va cambiando hacia cóncava, aumentaron los peds resistentes y las superficies de erosión, con reducción notoria de las superficies de flujo, para un riesgo bajo.
- 2) En maíz, frijol y pasto de corte aumentó paulatina mente el porcentaje de superficies de flujo y de presurcos, a costa de la disminución de las superficies erodadas y de la cobertura vegetal; en cebolla se incrementó la aparición de surcos a partir de los presurcos (Cuadro 9).

CUADRO 8. Riesgo relativo de erosión hídrica basado en el más serio rasgo de erosión.

	RES	ERO	FLU	PRE	SUR	DEP	VEG	RIESGO RELATIVO EROSIÓN HÍDRICA
MAIZ parte alta	12	24	48	6	2	-	8	M-
parte media	30	38	20	12				B
parte baja	20	28	36	8	4	-	4	B+
FRIJOL contorno	2	22	64	12	-	-	-	B+
en sentido de la pendiente	-	18	32	6	-	-	44	MB
en sentido de la pendiente	-	14	36	4	-	6	40	MB
PASTO parte alta	-	12	76	8	-	-	4	M-
parte baja	-	10	72	12	-	-	6	M-
CEBOLLA:desmalezada	-	8	42	26	16	-	8	A-
medio enmalezada	4	6	60	14	2	-	14	M-
enmalezada	12	12	42	24	-	-	10	M

CUADRO 9. Riesgo relativo de erosión hídrica basado en el juzgamiento del porcentaje de rasgos en varias épocas.

		FECHA	RES.	ERO.	FLU.	PRE.	SUR.	DEP.	VEG.	RIESGO EROSIÓN
MAIZ	PARTE ALTA	17 XI	8	32	30	12	4	-	14	M+
		19	12	26	40	8	2	-	12	
		20	6	22	52	4	2	-	14	
		21	12	24	48	6	2	-	8	
	PARTE MEDIA	7 VI	2	54	36	6	-	-	2	B+
		10	30	38	20	12	-	-	-	
	PARTE BAJA	13 XI	14	40	30	6	-	-	10	B
		14	4	40	32	14	-	-	10	
		17	20	16	48	12	-	-	4	
		19	26	18	34	14	2	-	6	
		20	16	16	48	10	-	-	10	
		21	20	28	36	8	4	-	4	
FRIJOL	SEMBRADO EN CONTORNO	15 XI	76	4	12	4	-	-	4	M+
		17	10	38	48	4	-	-	-	
		19	8	46	34	10	-	-	2	
		20	2	22	64	12	-	-	-	
	SEMBRADO EN SENTIDO DE LA PENDIENTE (NOV)	15 XI	22	-	20	-	-	-	58	MB+
		17	2	26	18	4	-	-	50	
		19	4	6	28	10	-	-	52	
		20	-	18	32	6	-	-	44	
	EN SENTIDO DE LA PENDIENTE (JUN)	13 VI	-	12	42	-	-	-	46	B+
		14	-	22	24	4	-	4	46	
		15	-	14	36	4	-	6	40	
	PASTO DE CORTE	PARTE ALTA	5 XI	-	24	64	10	-	-	2
7			-	12	74	10	-	-	4	
8			-	16	72	10	-	-	2	
12			-	10	74	12	-	-	2	
13			-	10	70	16	-	-	4	
14			-	12	76	8	-	-	4	
PARTE BAJA		5 XI	-	20	63	7	-	-	8	M+
		7	-	18	58	16	-	-	8	
		8	-	16	72	12	-	-	8	
		12	-	8	70	12	-	-	10	
		13	-	8	72	12	-	-	8	
		14	-	10	72	12	-	-	6	
CEBOLLA	ENMALEZADO	8 XI	12	12	42	24	-	-	10	M+
		12	-	8	52	24	10	-	8	
	MEDIO ENMALEZADO	8 XI	8	16	38	24	4	-	10	M+
		12	2	10	60	16	2	-	10	
		13	4	6	60	14	2	-	14	
	DESMALEZADA	8 XI	2	30	24	24	12	-	8	A+
		12	-	8	52	22	14	-	4	
		13	2	6	46	34	6	-	6	
		14	-	8	42	26	16	-	8	

MB	B	M	A	MA
MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO

En frijol, sembrado en contorno, el riesgo fue de bajo a moderado ya que se formaron suficientes superficies de flujo (64%) y se distinguieron varios pedregales erodados (24%). En sentido de la pendiente el riesgo se calificó de muy bajo debido a la abundante presencia de rastrojo (40-50%) entre las hileras de plantas, y a la menor cantidad tanto de presurcos (4-6%) como de superficies de flujo (30%) y de pedregales erodados (14-18%). El aparente mayor riesgo cuando se siembra en curvas de nivel se explica por la metodología de rasgos que no contabilizó el rastrojo de maleza que el agricultor entresaca y deposita en contorno cubriendo buena parte del suelo.

En pasto de corte la erosión se estabiliza principalmente en superficies de flujo, alrededor de un 70%, que llevan a calificar de moderado a bajo el riesgo en este lote.

En el cultivo intensivo de cebolla las variaciones dependieron de las labores de desmalezado y reabonamiento manual; en la medida en que las ma-

lezas estaban recién arrancadas, el riesgo de erosión se hizo alto debido a una proporción elevada de presurcos (26%) y surcos (16%), derivados en parte de las pisadas del agricultor al realizar la labor; pero a medida que las malezas comenzaron a invadir el espacio entre las plantas de cebolla, el riesgo pasó a moderado debido a la mayor proporción de pedregales resistentes (4-12%) y erodados (6-12%) y a la desaparición paulatina de surcos (2-0%).

Entonces, en tierras de suelos profundos y húmedos, de lluvias erosivas y de relieve fuertemente ondulado, la agricultura intensiva permite un moderado avance de la erosión hídrica; la cual oscila entre baja y alta según la especie cultivada y el sistema de producción; lo que podría representar una pérdida promedio anual mayor de 15 t/ha, además de la desaparición total del abono orgánico aplicado, como queda registrado con la reaparición del horizonte B o C entre los surcos de cebolla a partir del último tercio del año.

BIBLIOGRAFIA

- BERGSMA, E.** Approximation of soil erodibility using simple tests. Netherlands : IIC, 1988. 22p.
- , The resistance of cultivation system against erosion, evaluated by recording features of soil surface microtopography. Netherlands : IIC, 1989. 15p.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS.** 40 años de investigación. En: Cenicafé. Vol. 1. Suelos. 1982. 69 p.
- GUZMAN, D. y JARAMILLO, A.** Estudio climático de Risaralda y Quindío. Chinchiná : Cenicafé, 1989. 65 p.
- HOWELER, R.H.** Prácticas de conservación de suelos para cultivos anuales. p. 77-93. In: HOWELER, R. H. ed. Manejo y conservación de suelos de ladera. Cali : CIAT, 1985.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO.** Informe de progreso 1983-84. Bogotá, 1984.
- INSTITUTO GEOGRAFICO «AGUSTIN CODAZI».** Levantamiento agroecológico de la zona cafetera central de Caldas. Bogotá, 1962. (Publicación No. 2A-6).
- INSTITUTO NACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES.** Mapa de erosión de Colombia. Bogotá, 1975. 40 p.
- LEON, T.** Plan de ordenamiento y manejo de la microcuenca Volcanes en el Departamento de Risaralda-Colombia. Bogotá : Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1985. 122 p.
- REINING, L.** Erosión in Andean hillside farming. Weikersheim : Margraf U. of Hohenheim, 1992. (Tropical Agricultural Series : 1).
- SIEGEL, S.** Nonparametric statistics for the behavioral sciences. p. 202-210.
- WISCHMEIER, W. and SMITH, D.** Predicting rainfall erosion losses (a guide to conservation planning). USDA, 1978. 58 p. (Handbook No. 282).