

EROSION DE SUELOS EN CERBATANA DE PURISCAL 1990-1995¹

*Gonzalo Hernández R.²
Amalia Ruiz H.²
Gustavo Barrantes²
Jorge Díaz²*

RESUMEN

Durante el período de 1990-1995 en la localidad de Cerbatana de Puriscal, Costa Rica, se instaló un experimento en parcelas y microcuencas de escorrentía y erosión con el objetivo de monitorear sistemáticamente la pérdida de suelo en cultivos de café, maíz-frijol-tabaco y en pastizales bajo las condiciones habituales de manejo utilizadas por el agricultor. Los resultados resaltan que las obras de conservación aplicadas para los cafetales son eficientes en la reducción de la erosión y escorrentía a montos relativamente aceptables y «manejables»; mientras que estas mismas obras de conservación no son suficientes para reducir la erosión en cultivos de rotación como el maíz-

-
1. Investigación financiada con fondos CONICIT.
 2. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Programa MADE. Apartado Postal 86-3000 Heredia, Costa Rica. Fax: (506) 261-0028.

frijol-tabaco, ya que el factor de cobertura vegetal es insuficiente para amortiguar el poder de desprendimiento de las gotas de lluvia. De igual manera se deduce de los resultados que los pastos son una buena alternativa para la protección de los suelos, siempre y cuando su espacio se aproveche en combinación con coberturas arbóreas como cítricos y se evite el sobrepastoreo.

Se demuestra, además, que para la zona de Puriscal, el factor uso y manejo de suelo y cultivos es el que mayor influencia tiene sobre la pérdida de suelos, en comparación con las particularidades correspondientes a las condiciones climáticas y características físico-químicas de los suelos.

ABSTRACT

During the period of 1990-1995 in the small settlement of Cerbatana, Puriscal, in Costa Rica, we carried out an experiment in plots and small river basins of running water and erosion to control systematically the loss of soil in coffee, corn-beans-tobacco and in pasture under the usual conditions of land management used by the farmer.

The results emphasize that the conservation practices used in coffee farms are efficient in the reduction of erosion and running water to rates that are relatively acceptable and manageable, while these same practices aren't sufficient to reduce soil erosion in rotation of crops such as corn-beans-tobacco because the covering of the vegetation is insufficient to mitigate the power, that the raindrops has to remove the soil. In the same way, the results of this investigation shows that pasture is a good alternative for the protection of soils, as long as its space is used in combination with trees such as citrics and avoid overgrazing.

It also demonstrate that in that Puriscal area, landuse soil management and farming has major influence on soil losses in comparison with peculiarities such as climate and physicochemical features of the soils.

I. INTRODUCCION

La erosión y la conservación de suelos son temas de primordial importancia, principalmente para países en vías de desarrollo, con sus economías basadas en el sector agrícola, y localizados en zonas con climas tropicales cuyas lluvias contienen un alto potencial erosivo. La degradación de los suelos es una forma de degradación ambiental, ésta, a la vez, es una forma de degradación en la calidad de vida de la sociedad en general.

La erosión de los suelos representa, igualmente, un problema de tipo social, ya que a partir de la explotación y desarrollo de zonas aptas para la agricultura, tales como las llanuras dedicadas a la explotación bananera o grandes pastizales, han ido

quedando solamente tierras marginales ubicadas sobre laderas con fuertes pendientes, las cuales son cultivadas, en su mayoría, por pequeños agricultores sin capital suficiente para la implementación de obras de conservación de suelos.

La combinación de alto potencial erosivo de las lluvias, agricultura y ganadería en laderas, más la falta de capital para la conservación de suelos, provoca muchas veces una degradación rápida de los suelos y una alta contaminación de los ríos con materiales en suspensión. Los daños y pérdidas por la erosión son múltiples, y pueden diferenciarse por daños en el sitio (on site) y daños fuera del sitio (off site). Entre estos tipos podemos mencionar:

en el sitio:

- pérdida de nutrientes y mayor necesidad de fertilizantes,
- pérdida del suelo, reducción y pérdida del horizonte A con su alto contenido de materia orgánica,
- reducción del rendimiento de los cultivos a corto y a largo plazo,
- pérdida del potencial de amortiguamiento de los suelos durante lluvias intensas, aumento de la tasa de escorrentía superficial,
- migración de población a nuevas zonas marginales o centros urbanos, debido al agotamiento productivo de los suelos,
- inestabilidad de laderas, aumentando el riesgo de deslizamientos sobre sitios poblados, carreteras, puentes y cauces de ríos.

fuera del sitio:

- daños en la infraestructura, por ejemplo en represas hidroeléctricas, carreteras, sistemas de drenaje, etc.,
- daños ecológicos en ríos, lagos y el litoral, debido al aumento de la concentración de los sólidos en suspensión y de nutrientes y plaguicidas arrastrados.

La cuantificación de la erosión laminar de suelos se ha hecho en Costa Rica mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Wischmeier y Smith, 1978). Esta ecuación fue calibrada para el medio oeste de los Estados Unidos. En ambientes tropicales como el de Costa Rica, la misma está totalmente fuera de su rango de calibración (Alfaro y Palacios, 1991); se han publicado valores que predicen rangos de pérdida de suelos de 400 a 800 ton/ha/año, lo cual carece completamente de cualquier base lógica, ya que esto implicaría que el horizonte productivo se agotaría en menos de una década para grandes extensiones de territorios agrícolas, lo cual realmente no ha ocurrido en el caso de Costa Rica.

Es necesario, por lo tanto, contar con datos confiables de la pérdida real de suelo. La única manera de poder obtener estos datos es mediante el monitoreo continuo y prolongado de parcelas de erosión y escorrentía, con lo cual se podrá, en primer

término, conocer la magnitud del problema, sus características particulares con respecto a los tipos de cultivos, métodos de conservación, condiciones climáticas y geomorfológicas propias de nuestro país.

«Se debe considerar que las inversiones necesarias para la sistematización de fincas por la introducción de medidas de conservación y manejo de suelos sean justificadas y basadas en una alta probabilidad de que se recuperarán las mismas a corto plazo. Es decir que sean garantizadas con un adecuado mejoramiento de producción. Sin embargo en Costa Rica, los estudios de la pérdida de suelo, las consecuencias por la pérdida de la fertilidad agrícola y otras pérdidas económicas, que pueden servir como justificación de las inversiones planificadas, o para la búsqueda de medidas de conservación que sean eficientes, baratas y rentables al mismo tiempo, son todavía pocos» (Dercksen, 1991).

II. OBJETIVOS

Monitorear y cuantificar en forma continua, prolongada y sistematizada la erosión de suelos, mediante la utilización de experimentos sobre parcelas de escorrentía y erosión ubicados en una finca agrícola en Cerbatana de Puriscal, Costa Rica.

Determinar cuáles factores ambientales y de cultura agrícola son los que más influyen en el proceso de la pérdida de suelos.

III. MATERIALES Y METODOS

Se procedió a ubicar cinco parcelas de escorrentía y erosión, además de sistemas de medición de escorrentía y erosión en tres microcuencas, junto con una estación meteorológica, en una finca agrícola localizada en Cerbatana de Puriscal. Dicha finca se dedica principalmente a la producción de tabaco, maíz, frijol, café y pastos.

Las parcelas pequeñas son estructuras tipo Wischmeier (fig. N° 1), que miden 7 m de ancho por 22.1 m de largo (154.7 m²) y consisten en un área delimitada por láminas de zinc galvanizado y un vertedero o trampa para sedimentos ubicada en la parte más baja de la parcela conectado al vertedero está un sistema de dos tanques que recogen las aguas de escorrentía y sedimentos arrastrados desde la parte interna.

El primer tanque tiene una capacidad de 64 litros y sirve como trampa de sedimentación para materiales gruesos y para la escorrentía producida por lluvias de poca intensidad. Este tanque posee en la parte superior ocho salidas, una de las cuales da con un tanque de menor capacidad, el cual funciona como alféuota cuando el tanque mayor se rebalsa; con este sistema se calcula una escorrentía aproximada de 1.500 litros.

Las mediciones y el muestreo se realizan por las mañanas; para cada parcela se determina la altura del agua en los tanques y se toma una muestra de 1/2 litro de cada

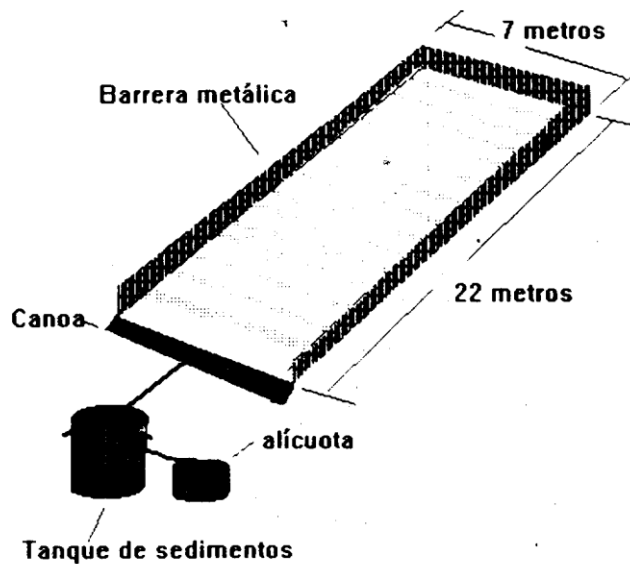


Figura 1. Parcelas de erosión y escurrimiento.

tanque para la determinación de la pérdida de materia sólida. De igual manera se procede a la lectura del volumen de lluvia caída y de la tensión del suelo (pluviómetro y tensiómetros en cada parcela).

Los parámetros meteorológicos provienen de la estación meteorológica del ensayo, a una distancia no mayor de 500 m de las parcelas, equipada con un pluviómetro, un pluviógrafo, un hidrotermógrafo, un anemógrafo, además de un datalogger, el cual registra información climática continua cada cinco minutos (Vahrson y Cervantes, 1991).

3.1 Microcuencas

Las microcuencas monitoreadas son tres: una en uso suelo maíz-frijol-tabaco, otra en pastos con cítricos y una en pastos degradados. El mecanismo de monitoreo consiste en una zanja construida y dispuesta de tal manera que recoge las aguas y sedimentos que salen de la microcuenca dada, y los conduce hasta una trampa para sedimentos, ubicada al final del canal, donde el material sólido se sedimenta; dicha trampa es un tanque abierto, de concreto, de tamaño adaptado a las características de las parcelas. El agua se hace pasar por un vertedero («Parshall Flume») donde un limnógrafo determina el nivel del agua y así la cantidad respectiva. Diariamente, se determinan los volúmenes del material sedimentado y se toma una muestra representativa de cada trampa. Al mismo tiempo se cambian las bandas de los limnógrafos.

En el laboratorio, con base en los volúmenes de los materiales sedimentados y las muestras representativas de ello, se determina el peso seco del material (Vahrson y Palacios, 1993).

3.2 Características generales del área y sitio de estudio

La finca experimental se encuentra en la localidad de Cerbatana en el cantón de Santiago de Puriscal y posee una altitud promedio de 1.100 m.s.n.m. De geomorfología sumamente abrupta son abundantes los ejemplos de degradación física de los suelos, tales como terracetas, reptación o movimientos en masa. Por mucho tiempo esta zona fue considerada como el granero de Costa Rica debido a sus buenos niveles de productividad, sin embargo, en la actualidad es el mejor ejemplo de las consecuencias negativas que conlleva no aplicar métodos adecuados de conservación de suelos.

Los suelos se clasifican como Udic Haplustalf, de textura arcillosa y una estructura granular con bloques subangulares, con un pH de 5.2 (Cervantes y Vahrson, 1992).

El experimento se ubicó en parcelas distribuidos así: dos en café, una en pastos y dos en tabaco, mientras que en las microcuencas una se instaló en cultivo de rotación tabaco-maíz-frijol, otra en pastos con cítricos y otra en pastos degradados.

Café con sombra

Como su nombre lo indica, está instalada en un cafetal en el cual se utilizan como sombra árboles de poro (*Erythrina poeppigiana*), principalmente, ubicados a distancias irregulares de unos 7 m a 10 m; además, durante el primer año, se tenía cultivado zacate de limón como barrera viva, pero posteriormente éste fue eliminado. El cultivo de café se aplica en contorno sobre terrazas, con taludes de unos 0.75 m de altura y distancias de 1.75 m entre filas. Al instalarse el experimento, el café tenía unos 2 años de desarrollo.

La pendiente es cóncava, con un máximo de 54% en la parte superior (13.3 m) y un mínimo de 47% en la inferior (8.70 m).

Parcela café sin sombra

A excepción de que no posee árboles para sombra, el resto de sus características son parecidas a las de café con sombra. La pendiente es ligeramente cóncava con un promedio de 62%.

Parcela de pastos

Esta parcela está dedicada al pastoreo. Se muestra ligeramente degradada, principalmente por terracetas; soporta carga animal, tanto caballos como ganado

vacuno de engorde. La forma de su pendiente es ligeramente convexa, con 50% en los primeros 16 m de la parte superior, y 53.5% en los siguientes 6 metros.

Parcela tabaco4

Esta parcela está dedicada al cultivo de tabaco-maíz-frijol, en limpio, con sistema de cultivo en contorno sobre terrazas; los taludes son de 0.50 m aproximadamente, con 1 m entre hileras. Se siembran el maíz y el frijol durante el mes de abril y se cosechan en julio; posteriormente se realizan obras de palea y restablecimiento de taludes para cultivar el tabaco en el mes de agosto. La cosecha se efectúa en el mes de enero.

Tiene una pendiente uniforme, con un promedio de 53.2%.

Parcela tabaco5

Posee las mismas características de cultivo y manejo que la anterior parcela de tabaco. La única variante importante es la pendiente, la cual tiene forma de «S» con un 47 % de pendiente en la parte superior, 30% en la parte intermedia y un 35.8% en la parte inferior.

3.3 Microcuencas

Tabaco-maíz-frijol

La parcela de tabaco-maíz-frijol mide 0,255 ha. Es producto de un deslizamiento que le ha dado una forma cóncava, con laderas de hasta un 100%, pero que al pie de las mismas las pendientes oscilan entre un 10% y un 25%; no tiene canales naturales bien definidos, por lo que el agua de escorrentía escurre en forma turbulenta por pequeñas depresiones hasta dar con el canal que lleva a la trampa de sedimentación. El agricultor aplica el sistema de cultivos en contorno, con taludes de unos 0.50 m de altura y 1.50 m de distancia entre filas de cultivo, como único sistema de conservación. El maíz y el frijol se cultivan en los meses de marzo y abril, y se cosechan en julio, posteriormente se hace una «limpia» del terreno, se «palean» los contornos y se procede a sembrar el tabaco, el cual es cosechado en enero, aproximadamente.

Pastos-cítricos

Esta parcela mide 0,12 ha, tiene pendientes que oscilan entre un 10% a un 50%, posee una forma de depresión alargada con laderas convexas y «suaves» cambios entre pendientes, la escorrentía se concentra hacia la parte central y se escurre a lo largo hasta alcanzar el canal o trampa de sedimentos.

Los pastos se encuentran bien cuidados, y se evidencia un nivel entre bajo y moderado de terracetas de poca profundidad. Se utiliza dicho espacio para la explotación

de árboles frutales-cítricos, plantados a distancias de unos 10 m a 15 m. La base sobre la cual son sembrados los árboles y que mide unos 1.5 m. Pastan aquí tanto ganado equino como bovino.

Pasto degradado

Esta parcela mide 0.55 ha. Como su nombre lo indica está muy afectada por terracetas profundas, que degeneran incluso en desprendimientos masivos de suelo. Es una ladera de formas irregulares sin canales de desagüe bien definidos, con un predominio de pendientes muy fuertes, superiores al 45%. A pesar de su condición muy inestable se dedica intensamente al pastoreo de ganado vacuno y caballos.

IV. RESULTADOS

4.1 Características físicas de los suelos

El análisis de los suelos efectuado por Vahrson y Cervantes (1991) demostró que el uso del suelo tiene relación con algunas de las diferencias en las características físicas de los suelos. Los mencionados investigadores dicen que mientras la textura y estructura no varían sustancialmente, y la clase textural en casi todos los casos es arcilla, las curvas de retención y las conductividades saturadas presentan grandes variaciones (cuadro N° 1).

Mientras que en el caso de las parcelas bajo café los promedios de las conductividades saturadas de los primeros 25 cm varían entre 100 y 500 cm/día (con sombra) y 250 y 750 cm/día (sin sombra), o sea, valores clasificados como de moderados a rápidos, estos promedios llegan bajo pasto sólo a promedios entre 12 y 2.5 cm/día, clasificados como lento a moderado y lento, reflejo de su estado de compactación. En los horizontes inferiores el comportamiento de las conductividades saturadas es relativamente homogéneo: todas las parcelas llegan a valores inferiores a 1 cm/día, lo cual es muy lento.

Las curvas de retención y porosidad indican un comportamiento parecido.

La porosidad total en todas las parcelas muestra valores de, generalmente, entre 62% hasta 65%, con un incremento de hasta 72% respectivamente, y 67% en los horizontes superiores de las parcelas con café. Sin embargo, más importante que la porosidad total de los poros es la distribución de los tamaños de los poros, derivada de las curvas de retención: aquí puede observarse que la diferencia (AI) entre la porosidad total (POR) y el agua retenida con pF de 2.4 (capacidad de campo) tiene valores entre 20% y 28% en los casos de las parcelas bajo 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

CUADRO N° 1
CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS SUELOS

Horizonte	Prof. CM	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase	Estructura
Parcela café-sombra						
A	0-5	33	18.2	48.8	Arcilla	Granul. fina
A2	5-15	35	16.2	48.8	Arcilla	Bloq. Subang.
B	50-120	32.2	17.4	50.4	Arcilla	Bloq. Subang.
Parcela café						
A	0-15	23	30.6	46.4	Arcilla	Granu.
A2	15-37	42.2	25.4	32.4	Franc. Arcill.	Bloq. Subang.
AB	37-65	36.2	23.4	40.4	Arcilla	Bloq. Subang.
Parcela pasto						
A	0-35	32.2	25.4	42.4	Arcilla	Gran/Bloq
AB	35-50	24.2	17.4	58.4	Arcilla	Bloq. Subang.
B	50-130	26.2	11.4	62.4	Arcilla	Bloq. Subang.

Tomado de Vahrson y Cervantes (1991).

um 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.

4.2 La escorrentía superficial y la pérdida de suelos

Los resultados de la pérdida de suelo y escorrentías monitoreados en las parcelas para el período de 1990 a 1995, se muestran en los cuadros N° 2, 3 y 4.

Los datos correspondientes al año 1995 deben considerarse con precaución, ya que ha influido en los resultados tanto el comportamiento excepcional del clima (tal y como se explica más adelante), como un incremento en la actividad biológica por parte de una plaga de hormigas, las cuales expulsan grandes cantidades de suelo de sus nidos.

En la fig. N° 2 se resume el resultado del monitoreo de la erosión para cultivos de café, tabaco-maíz-frijol, pastos bien manejados y pastos degradados; en todos los casos para pendientes superiores al 50%, como ya se ha señalado, con obras de

CUADRO N° 2
CERBATANA, PURISCAL: PERDIDA ANUAL DE SUELO kg/Ha/año
PERIODO 1990 - 1995

PARCELA	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Café-sombra	1.363	3.247	390	494	567	2.861
Café	168	2.402	242	790	848	1.200
Pasto	339.4	435	114	1.107	1.694	—
Tabaco4		10.538	7.010	3.153	5.565	—
Tabaco5			4.061	788	—	9.015

CUADRO N° 3
CERBATANA, PURISCAL: ESCORRENTIA SUPERFICIAL ANUAL mm.
PERIODO 1990 - 1995

PARCELA	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Café-sombra	28	35	19	20	41	72.5
Café	13	34	21	27	39	55.17
Pasto	51	25	65	56	185	—
Tabaco4		43	9	5	18	—
Tabaco5			11	0.04	—	103.4
						4

CUADRO N° 4
PERDIDA DE SUELOS EN LAS MICROCUENCAS
EN TON/HA/AÑO
PERIODO 1992-1995

PARCELA	1992	1993	1994	1995
TABACO (0,255 ha)	10	1.17	2.13	12.8
PASTO-CITRICOS (0,12)	1.5	0.25	0.34	0.27
PASTO DEGRADADO (0,55)	3.8	4.8	4.42	2.9

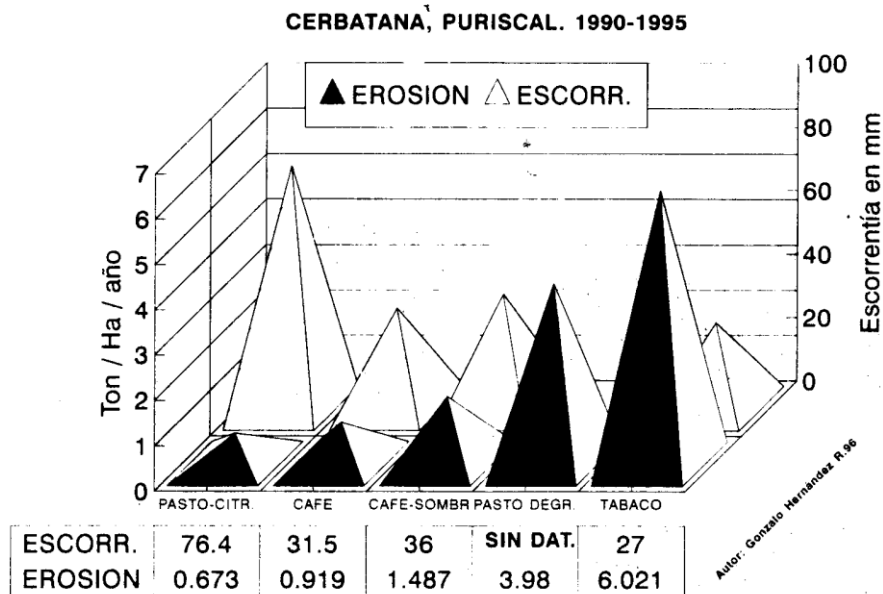


Figura N° 2. Pérdida promedio de suelo y escorrentía según tipo de cultivo (ton/ha/año).

conservación (en café y tabaco) de terrazas con cultivos en contorno principalmente. Para el pasto no se consideran los registros de la parcela pequeña de 1995.

V. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Características climáticas y su relación con la erosión

El clima se clasifica como tropical húmedo, con un promedio de 2.279 mm al año. Los meses de diciembre, enero y febrero se muestran como los menos húmedos, mientras que de mayo a noviembre se puede considerar la temporada lluviosa principal, con un descenso (veranillo) en el nivel de lluvias que se prolonga por unos 15 a 22 días y que se presenta entre los meses de junio y julio (fig. N° 3) principalmente. El clima no muestra condiciones extremas, las cuales sean indicadoras de efectos determinantes en los procesos de degradación de suelos presentes en la zona, Vahrson (1991) calcula un factor R (USLE) de 255 unidades, el cual en apariencia se muestra moderado.

En la fig. N° 4 se puede apreciar la frecuencia de lluvias iguales o superiores a 10 mm; se muestran de igual manera las «intensidades absolutas» (total de lluvia / tiempo total del evento) como un indicador de los eventos más críticos. El promedio

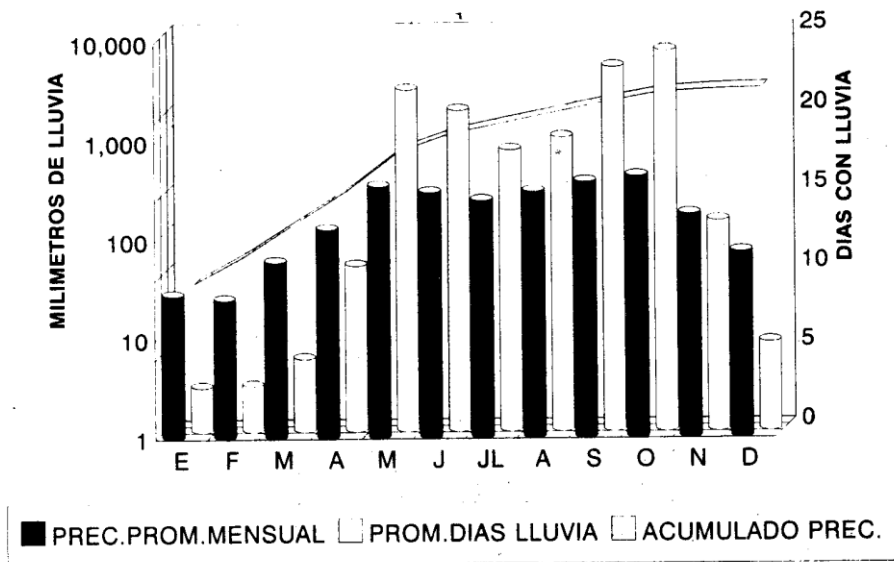


Figura N° 3. Santiago de Puriscal: Climatograma.

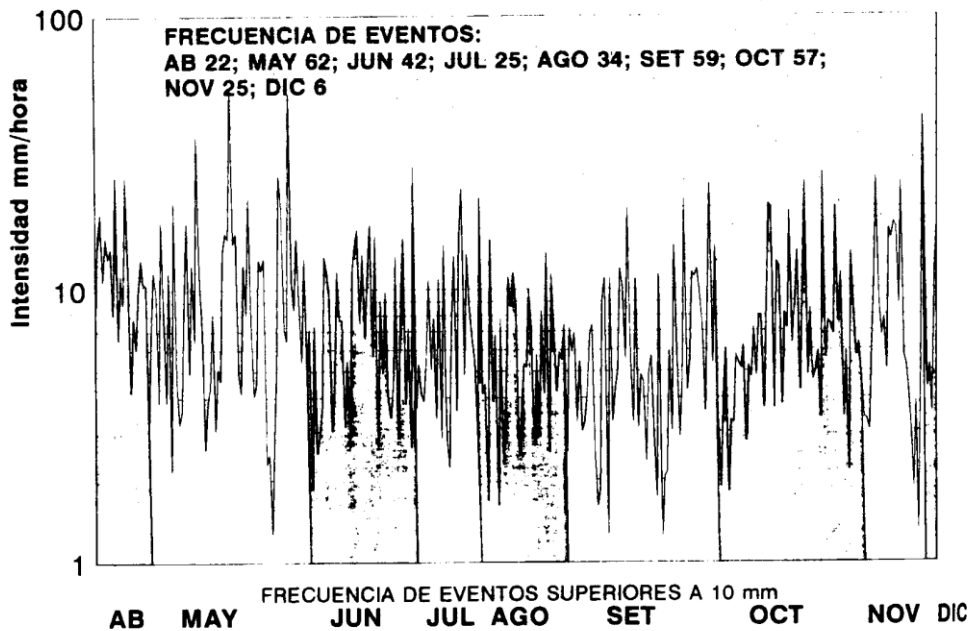


Figura N° 4. Cerbatana, Puriscal: Intensidades absolutas y frecuencia de precipitación superior a 10 mm (1990-1994).

mensual de estas intensidades es bastante homogéneo, oscilando entre 6.73 mm/hr. y 11.79 mm/hr., lo que indica que no hay diferencias significativas entre un mes y otro en cuanto a la agresividad climática por intensidad de los eventos. Sin embargo, sí hay diferencia por la frecuencia.

Entre 1990 y 1995 ocurrieron 397 eventos de precipitación igual o superior a 10 mm (considerados éstos como eventos erosivos), en el gráfico de intensidades absolutas se evidencia que mayo, setiembre y octubre muestran tanto la mayor frecuencia como los eventos más intensos, indicando claramente que estas son las temporadas más críticas.

Los valores de las intensidades ya sean éstas absolutas o relativas a 5, 10, 15, 30 minutos, por sí mismas no dicen mucho en cuanto a su potencial erosivo; es muy relativo el clasificarlas como «bajas», «moderadas» o «altas». Sin embargo, si su efecto combinado y acumulativo se pondera comparándolo con los montos de erosión que han provocado, es posible decir que su potencial erosivo realmente es significativo, ya que han causado pérdidas de hasta 12 ton/ha/año, pérdidas que de mantenerse en forma sostenida por varios años, causarían efectos catastróficos para la agricultura de la zona.

Un análisis de todas las precipitaciones ocurridas durante 1995 y su relación con la erosión producida en la parcela de café con sombra, indica que de 232 eventos (con 1 mm o más de precipitación), los eventos con volúmenes iguales o superiores a 10 mm son los responsables del 98% de los montos de suelo perdido; en otros términos, los eventos inferiores a 10 mm no son problemáticos desde el punto de vista erosivo, éstos corresponden a un 42% del total de eventos; o sea el 57% de eventos son en algún grado erosivos.

Se determinó que los eventos iguales o superiores a 50 mm (3.8% del total de eventos erosivos), son responsables de casi el 60% del total de suelo perdido; de éstos sólo 3 eventos (103.7 mm, 80.4 mm, 61.5 mm), fueron los responsables del 53.30% del total de suelo erosionado.

El efecto de la acumulación de humedad en el suelo y su relación con la vulnerabilidad del mismo a la erosión se puede apreciar en un par de datos puntuales: mientras que un evento aislado de 55 mm ocurrido durante marzo provocó una pérdida de 2.66 kg/ha/año, otro evento de 53 mm ocurrido en mayo 15 (después de un temporal de unos 15 días) provocó una pérdida de 19.13 kg/ha/año.

El análisis de las posibles relaciones directas entre precipitación-escorrentía-erosión no ofreció resultados que indicaran una correlación a nivel diario de causa-efecto entre estas variables. La correlación entre la escorrentía diaria y la erosión diaria es muy baja, mostrando una alta dispersión de asociación de datos de escorrentía con los correspondientes datos de erosión producida. Por supuesto que el factor climático

tiene una participación fundamental en el proceso erosivo; sin embargo no se pudo encontrar que «el tiempo de respuesta» entre un evento erosivo y el correspondiente rango de erosión producida sea inmediato y en función directa con la intensidad de la lluvia.

5.2 «Temporadas más erosivas»

Un análisis hecho a nivel mensual, tomando en cuenta los montos de erosión registrados por mes para el período del 90 al 93, evidencia una asociación entre ciertas «temporadas lluviosas» y el aumento en los montos de pérdida de suelo. Este análisis, calculado para cada mes como un porcentaje de la erosión total, deja ver cuáles son los meses más problemáticos, tal y como se muestra en los cuadros N° 5 y N° 6.

CUADRO N° 5
JERARQUIZACION DE MESES MAS EROSIVOS
(Café - Pasto) (cobertura permanente)

I	Octubre - Noviembre
II	Agosto - Setiembre
III	Mayo- Junio
IV	Diciembre - Julio
V	Abril

CUADRO N° 6
JERARQUIZACION DE MESES MAS EROSIVOS
(rotación tabaco-maíz-frijol) (cultivos en limpio)

I	Setiembre - Octubre
II	Mayo - Junio
III	Agosto - Noviembre
IV	Diciembre - Julio

Al tratar de comparar estos cuadros con la fig. N° 4 se nota una importante relación entre los meses más erosivos y los meses en los cuales se da la mayor frecuencia e intensidad de eventos de precipitación.

Entre ambos cuadros (5 y 6) se plantea la diferencia entre temporadas más problemáticas para cultivos de cobertura permanente y poca labranza (café y pasto) con respecto a cultivos que requieren de mayor labranza, con coberturas porcentualmente muy bajas (rotación tabaco-maíz-frijol).

Mientras que en el café y el pasto, la relación entre erosión y precipitación parece estar condicionada solamente por la acumulación de la humedad conforme avanza la temporada de lluvias; en la rotación tabaco-maíz-frijol se evidencia que la desprotección del suelo durante mayo-junio, en conjunto con la precipitación, aumenta la vulnerabilidad, aunque los suelos no necesariamente estén saturados.

En el café y en el pasto (cuadro N° 5), octubre y noviembre, meses ambos de alta precipitación y que en promedio son los meses en los cuales se acumula la mayor cantidad de humedad en los suelos, son a la vez los meses en los cuales se da porcentualmente la mayor cantidad de pérdida de suelo.

Con condiciones de menor acumulación de humedad, aunque con montos de precipitación semejantes, igualmente se muestran en un segundo nivel en cuanto a porcentaje de erosión producida los meses de agosto-setiembre.

Para mayo-junio, inicio de la temporada lluviosa, la humedad en el suelo es muy baja o mínima, aunque la precipitación es parecida a los meses de mayor precipitación; esto causa menos problemas con la pérdida del suelo.

Por último, el significativo descenso de la precipitación para diciembre y julio los señala como los meses menos erosivos.

La «variación temporal» de los montos de erosión es diferente en cultivos que requieren mayor labranza, como el de tabaco-maíz-frijol. Se percibe en el hecho de que además de la influencia determinante de la precipitación, debe incluirse el factor manejo; al analizar los datos del cuadro N° 6 podemos explicar éstos diciendo que setiembre-octubre corresponden a la temporada de mayor precipitación y humedad acumulada en las cuales el suelo está totalmente expuesto al impacto de las gotas de lluvia, ya que la cobertura por desarrollo foliar es muy baja.

Para mayo-junio, el factor de humedad del suelo pasa a segundo término, ya que la desprotección del suelo parece tener más influencia en la vulnerabilidad del mismo. Para agosto y noviembre, se tiene que el primero es el mes en el cual se siembra el tabaco y se le da restauración a las obras físicas de conservación, lo cual parece influir en cierta reducción temporal de la erosión, mientras que noviembre es el mes en el cual las plantas de tabaco se encuentran mejor desarrolladas, aumentando el porcentaje de cobertura sobre el suelo.

Diciembre y julio son los meses menos problemáticos. Para esta temporada se conjugan la reducción en los montos de lluvias y el máximo porcentaje de cobertura del suelo, maíz-frijol en julio y tabaco para diciembre.

Obviamente la precipitación y la humedad de los suelos son factores sobre los cuales el agricultor no tiene ningún control, influyen en la mayor o menor pérdida de

suelos y principalmente en su variación temporal. El factor sobre el cual sí es posible tener un mejor control lo es la cobertura del suelo; ésta puede acrecentar o reducir el impacto asociado a las lluvias y a la humedad del suelo.

No es sólo la mayor precipitación ni la mayor intensidad de las lluvias las que condicionan la ocurrencia de la erosión, sino su efecto combinado con la acumulación de humedad y cobertura del suelo.

5.3 Escorrentía

El análisis de los datos de escorrentía muestra un comportamiento general que indica valores más altos en pastos, intermedios en café y bajos para tabaco. La variación anual mostrada para cada cultivo en sí es producto tanto del factor climático como del manejo o laboreo que se hace de los suelos y cultivos, los cuales no tienen condiciones similares año con año, influyendo tanto en los montos de erosión como de escorrentía.

Se determinaron los coeficientes de escorrentía. Los mismos varían bajo el uso de café (con sombra y sin sombra) entre 0.6% hasta 1.84%, en el pasto la variación va de 0.88% hasta 8.32% y en tabaco (parcela tabaco4) entre 0.22% a 1.94%. A excepción del año 1995 y de las escorrentías en pasto, los coeficientes sugieren que los volúmenes de agua escurrida no son realmente problemáticos. Vahrson y Cervantes (1991) encuentran que los coeficientes son consecuentes con las conductividades saturadas analizadas para los suelos bajo los diferentes usos.

Es importante recalcar que en el análisis estadístico de los resultados de la erosión y escorrentía en ningún momento fue posible encontrar una correlación significativa entre los datos diarios del escurrimiento y el arrastre de partículas. Tenemos, por ejemplo, que en los resultados de pasto se presentan las mayores escorrentías, sin embargo, de igual manera se muestra cómo los montos de erosión son los más bajos. Por otro lado, las parcelas de tabaco generan las escorrentías más bajas y los datos de erosión más altos comparados con el café y el pasto.

El café se mantiene relativamente en un nivel intermedio entre el tabaco y el pasto en cuanto a sus montos de erosión y escorrentía, prácticamente en igualdad de condiciones en los tipos de suelos. La cobertura foliar y el porcentaje de «mulch» de las dos parcelas de café indican escorrentías bastante semejantes entre sí.

El año 1995, se mostró como el de mayor precipitación del período analizado, con un exceso de 764.4 litros/m² más del promedio para estos suelos. Desde el mes de marzo empezó a llover con montos superiores al promedio, y así se mantuvo hasta agosto, ocasionando que prácticamente no se diera el llamado «veranillo», por lo tanto los suelos se saturaran desde antes. Las consecuencias de esto se reflejan en los montos de erosión y escorrentía, que en igualdad de condiciones de manejo y cultivo a los años anteriores, se han visto incrementados significativamente.

Para los cultivos de café, el incremento se muestra con un monto «razonable» respecto de los registros de los años anteriores: en café con sombra el coeficiente de escorrentía alcanzó 2.38% (1.84% en el 94) y en café sin sombra el coeficiente en 1995 fue de 1.81% (1.75% en 1994).

La escorrentía en las parcelas de pasto y tabaco5 debemos considerarla completamente anormal. En pastos, ésta equivale a un coeficiente de 27% en 1995 (8.3% en 1994), mientras que en tabaco5 el coeficiente fue de 3.4% en 1995 (0.45% en 1992). En cuanto a los pastos debemos decir que en los últimos años se ha incrementado la cantidad de ganado, el cual ha provocado mayor compactación del suelo; aunado esto a la baja conductividad hidráulica, saturación temprana de los suelos, junto con el alto porcentaje de cobertura del pasto, necesariamente han influido en la escorrentía. Parece ser que existe un umbral a partir del cual los pastos por sí mismos no son capaces de reducir la cantidad de agua que puede escurrir, o más bien, de estimular la infiltración. Comparando la escorrentía en pastos con respecto a las escorrentías en tabaco5, y sobre todo con las de café, vemos que en éstos las cantidades son significativamente menores, el uso de terracetos y cultivos en contorno contribuye definitivamente a reducir los montos de agua que pueden escurrir.

En cuanto al tabaco5, el incremento en la escorrentía puede deberse, además del factor climático, a que para 1995 se hizo una restauración del sistema colector de sedimentos (el cual estuvo fallando en forma imperceptible durante 1993 y 1994), esto mejoró el registro de datos de erosión y escorrentía. Tanto para pastos como para tabaco5, el hecho de que las lluvias se iniciaran desde mayo y se mantuvieran con registros mensuales superiores al promedio, además de que no hubo veranillo durante junio-julio, causó una saturación de suelos prematura y permanente durante todo el año.

Los datos registrados de erosión tienen un «comportamiento» semejante a los de escorrentía; aumentaron para todos los usos. Para las parcelas de café, el incremento de erosión se muestra consecuente con el incremento en los datos de escorrentía. Los montos registrados en pastos y tabaco se han visto definitivamente incrementados, además, por la presencia de nidos de hormiga, las cuales construyen grandes nidos, exponiendo una gran cantidad de suelo desprendido en la parte exterior de sus nidos. Los registros en la parcela de pastos y tabaco (1995) deben considerarse prudentemente, ya que esta variable de «erosión biológica» no se repite para los años anteriores.

Aunque el período de registro de la estación meteorológica analizada fue muy corto (6 años), debemos indicar que el comportamiento de la precipitación en el 95 es excepcional para la zona, y que dichos montos de precipitación sobrepasaron las obras de conservación utilizadas por el agricultor. Sólo una tormenta ocurrida el día 26 de julio (103 mm de volumen, con 96 mm/h de intensidad en 15 minutos) produjo en la parcela de café con sombra el equivalente a casi una tonelada por hectárea en un año.

Esto indica que cuando el agricultor, con base en su experiencia cotidiana, construye sus obras de conservación, procuran el mínimo costo económico, y cuando se dan estos eventos excepcionales, sean tormentas, temporales o períodos completos muy diferentes a lo que para él es normal, se puede perder en poco tiempo lo que ha tardado varios años en conservar.

5.4 Erosión

El comportamiento de la erosión refleja tendencias generales bastante lógicas, mostrando que los cultivos anuales en limpio, como el tabaco-maíz-frijol, tienen mayores pérdidas de suelo, mientras que un cultivo permanente como el café, con una mayor cobertura del suelo, muestra pérdidas bastante más bajas que el tabaco; igualmente, los pastos bien conservados y con buena cobertura del suelo tienen pérdidas semejantes al café (sin tomar en cuenta el año 1995).

La variación anual de los datos en forma específica para cada cultivo también refleja un hecho intrínseco a la problemática de la erosión, esto es, el componente multivariante que interviene en dicho proceso: clima, suelos, manejo, geomorfología, etc. Partiendo de que las únicas variables que permanecieron estables fueron el factor pendiente de la parcela y tipo de cultivo, el resto como el clima y variantes en el manejo como altura de la palea, cambios en la altura de los contornos, existencia temporal de barreras vivas, cambios en la temporada de cosecha, cambios en la cantidad de cabezas de ganado por hectárea, fueron elementos que decididamente influyeron en la variabilidad anual de los montos de erosión para cada cultivo. Aún así, en monitoreos de erosión con un manejo muy homogéneo, Faustino et al. (1994) encontraron una alta variabilidad en cultivos de rotación maíz-frijol.

En las parcelas de café, el monto correspondiente a 1991 es muy elevado con respecto al resto. Esto se debe a que durante el año 1990 existieron barreras vivas de zacate de limón (*Andropogon citratus*) en las parcelas, las cuales se eliminaron completamente en el año 1991.

Durante el año 1990, el suelo tenía una buena cobertura de zacate corto en las parcelas de café, especialmente en la de café sin sombra. Esta cobertura fue eliminada por medio de herbicidas, dejando el suelo desprotegido, además, una sequía durante los meses de julio y agosto provocó una maduración irregular y adelantada del café. Esto obligó a una cosecha adelantada que comenzó en el mes de setiembre y se extendió durante los meses de octubre y noviembre. Los recolectores entraron a las parcelas en el momento en que el suelo estaba más vulnerable por su alto grado de saturación y provocaron el desprendimiento del suelo y la compactación de la superficie (Vahrson, y Palacios, 1992).

En el año 1993, la parcela de café sin sombra fue podada completamente y se realizaron prácticas culturales como palea y eliminación de malezas, lo cual influyó, probablemente, en el incremento de la erosión para 1993 y 1994.

En la parcela de café con sombra vemos como para 1990, 1991 y 1992, ésta muestra una mayor pérdida de suelo, comparada con la parcela de café sin sombra. Hasta 1992, en igualdad de condiciones de manejo, la variable que puede haber influido es la diferencia en el porcentaje de arena, el cual es de un 10% más en el horizonte A del suelo de la parcela de café con sombra. Esta suposición no fue posible comprobarla científicamente, y solamente la exponemos como un factor a tomar en cuenta; sin embargo para 1993 y 1994, la segunda parcela pasó a producir mayor erosión que la primera, probablemente como producto de un cambio en la densidad de la cobertura por poda y palea.

Para el año 1995, el factor climático fue el que influyó definitivamente en el incremento tanto de la escorrentía como la erosión, ya que las condiciones de manejo y tipo de cultivo se mantuvieron iguales al de los años anteriores.

En cuanto al pasto, que se muestra como el uso que genera menos erosión, se resalta que para los años 1990, 1991 y 1992, se mantienen montos anuales relativamente uniformes y bajos, mientras que para 1993 y 1994, se incrementan dichos montos, incluyendo la escorrentía para 1994. Para estos dos últimos años, se incrementó el número de cabezas de ganado, principalmente caballos. Esto puede haber aumentado la compactación del suelo y la formación de terracetas, lo que tornaría más vulnerable el suelo. En los pastos es contradictorio el comportamiento común entre la erosión y la escorrentía. Para los primeros cuatro años se puede ver como si la escorrentía disminuye la erosión tiende a aumentar y viceversa. Este comportamiento lo único que hace es confirmar las causas multivariantes del proceso erosivo.

Las parcelas de tabaco tal y como se ha denotado, son las principales «productoras» de erosión. La parcela de tabaco4 fue instalada en 1991. Para este primer año, el talud de las terrazas tenía aproximadamente unos 0.35 m de altura; esto, junto con el hecho de estar recientemente instalada en 1991, puede ser la causa de la gran diferencia con respecto a los resultados de los años siguientes, ya que debido al alto monto de erosión registrado durante el primer año (10.538 kg/ha/año y 43 mm de escorrentía), el agricultor procedió a cambiar la altura de la terraza a 0.50 m, reduciéndose sustancialmente al año siguiente la erosión y la escorrentía (7.010 kg/ha/año y 9 mm, respectivamente).

La parcela de tabaco5 muestra características básicamente diferentes, ya que su suelo se evidencia más permeable (Vahrson y Palacios, 1993). El promedio de sus pendientes es inferior a tabaco4, y, principalmente, la forma de pendiente en «S» causa que la erosión y escorrentía que se genera en la parte alta se sedimente e infiltre en la parte intermedia de la parcela, que posee una pendiente mucho más suave además del terracedado que es más bien alto para esta pendiente de la ladera. Esto significa que los sedimentos y escorrentía que se están monitoreando en esta parcela corresponden, principalmente, a la parte más baja de la misma (unos 7.50 m), y en forma parcial lo que se logra «escurrir» de la parte alta y media; de ahí que los montos registrados para

1993 y 1994 sean sumamente bajos en comparación con tabaco4. Hay que agregar que para este último año el diseño de la trampa de sedimentos produjo una fuga por debajo del sistema, lo que repercutió en el registro de los datos. El agua se estuvo infiltrando por otros espacios, por lo que no se monitoreó adecuadamente la erosión y escorrentía.

Para 1995 el problema mencionado se corrigió, dando como resultado un aumento en los registros de escorrentía y suelo perdido. El monto de erosión registrado es alto, sin embargo éste no sobrepasa a los registrados en tabaco4 para el año 1991 y es muy semejante a los de 1992. Los eventos de precipitación extraordinarios ocurridos durante 1995 ocasionaron que las obras físicas de conservación (terrazas) se destruyeran parcialmente, debido a las altas escorrentías; esto obligó al agricultor a construir trampas de sedimentación para poder reducir la cantidad de agua escurrida.

En el tabaco, las partes más vulnerables por la erosión son los montículos de suelo acumulado, los cuales muestran, después de cada evento fuerte, la formación de pequeños surcos y en algunos sitios hasta son lavados completamente (Vahrson y Palacios, 1993).

En el cultivo de café, el cual representa una cobertura del suelo entre un 85% y 90%, tanto por «mulch» como por masa foliar, junto con obras de conservación de cultivos en contorno sobre terrazas, parecen suficientes medidas para impedir la escorrentía y estimular la infiltración, con lo que se baja, por lo tanto, la erosión física del suelo. El agua disponible para infiltración parece tener un efecto significativo en el «estímulo» de la capacidad de conductividad hidráulica de los suelos (230 mm/h).

En los pastos, la cobertura es superior al 90%, pero prácticamente a «ras» del suelo, cumpliendo con una función de «alfombra» que provoca un rápido escurrimiento del agua, lo que provoca que el porcentaje disponible para infiltración sea menor que en el café. Esto parece «atrofiar» la capacidad de conductividad hidráulica de los suelos bajo pasto (6.25 mm/h).

Retomando lo expuesto, tenemos que en el café el porcentaje de cobertura, junto con obras de conservación, bajan la escorrentía, fomentan la infiltración y reducen la erosión. En el pasto, el buen manejo del mismo, el porcentaje de cobertura junto con el efecto «alfombra», fomentan la escorrentía, reducen la infiltración y reducen la erosión. Ante cultivos y manejo diferentes entre sí, con efectos en la erosión muy semejantes, cabe preguntarse ¿cuál es el elemento o factor común que «controla» la erosión?

Parece ser que es el poder erosivo de la lluvia, cuyo impacto directo de las gotas sobre el suelo es amortiguado por la cobertura que representa el uso que se hace del mismo. Ya sea el café, un cultivo de morfología «alta», o el pasto, un cultivo «bajo», poseen en común una densa cobertura sobre el suelo. Al no haber desprendimiento por reducción en la velocidad y tamaño de las gotas de lluvia, el proceso de desprendimiento,

transporte y sedimentación se ve truncado; si no hay desprendimiento de partículas no hay material que transportar y sedimentar.

Por otro lado, tenemos las parcelas de tabaco, cultivo anual manejado en limpio, con un bajo porcentaje de cobertura que oscila prácticamente de 0% al inicio del crecimiento y en plena temporada lluviosa, hasta un 60-65% aproximadamente en su máximo desarrollo. En estas parcelas se utiliza el sistema de cultivos en contorno sobre terrazas como única obra de conservación. ¿Qué ocurre en este caso? La desprotección del suelo permite que la lluvia impacte directamente el suelo, provocando el desprendimiento del mismo. En teoría, el sistema de conservación aplicado debería reducir la escorrentía y estimular la infiltración (al igual que en el café), lo cual parece ser que efectivamente ocurre, ya que la escorrentía en tabaco es la más baja. El hecho de que haya mayor cantidad de suelo perdiéndose en comparación con los otros cultivos se debe a que hay más cantidad de suelo desprendido disponible para ser transportado; así, el remanente de agua que no se infiltra ni se evapora es suficiente para movilizar este suelo. La obra de conservación reduce la escorrentía pero no impide el desprendimiento.

¿Por qué para iguales condiciones de obras de conservación (cultivo en contorno sobre terrazas), se produce mayor escorrentía en el café que en el tabaco? Posiblemente, un primer condicionante se debe al laboreo que requieren los suelos para tabaco, lo cual puede mejorar la capacidad de infiltración del suelo. Otro aspecto es que el agua permanece menos tiempo y en menor cantidad disponible en el cultivo tabaco que en el cultivo café, ya que la capa húmeda del suelo en el tabaco tiene una exposición directa al sol y se evapora más fácilmente que en el café, puesto que en este cultivo la «densidad de vegetación» y mulch reducen la capacidad de evaporación, así el suelo permanece más tiempo húmedo, se satura más fácilmente y, por lo tanto, la escorrentía se ve favorecida en comparación con el tabaco.

5.5 Microcuencas

Una de las principales razones por la cual se montaron experimentos de erosión y escorrentía en «microcuencas» es el hecho de que estas formas son, en realidad, un buen ejemplo de lo que es, en primer término, el modo de manejo y uso que el agricultor hace de su finca para esta zona de Puriscal, a saber pastos para ganado, pastos con árboles frutales y cultivos anuales y perennes en laderas de empinadas pendientes. Por otra parte, estas microcuencas representan el común de las características geomorfológicas prevalecientes en la zona.

Los datos registrados en las microcuencas se muestran en el cuadro N° 4. No se indican los datos de escorrentía, ya que los limnógrafos, desde un inicio, presentaron inconvenientes en su operación, debido a que se saturaban con sedimentos y los insectos, principalmente, bloqueaban el sistema.

El comportamiento morfodinámico del agua y el suelo en microcuencas es muy complejo: las formas totalmente irregulares de la superficie provocan el estancamiento de agua y sedimentación de suelos, especialmente en determinados sitios producto del cambio de pendiente de la combinación aleatoria de formas cóncavas y convexas del terreno. Por lo tanto, no todo evento lluvioso (con la correspondiente erosión) se verá inmediatamente reflejado en la «salida» o trampa para sedimentos diseñada para tal fin. Los datos consecuentemente son «más gruesos», y el principal indicador de la pérdida de suelo en estas geoformas es el acumulado anual.

Al analizar los resultados obtenidos, se aprecia como la microcuenca de pastos-cítricos es la que produce menos erosión. Esto es consecuente con sus geoformas y pendientes relativamente más suaves y pastos mejor manejados. A la vez, el promedio de pérdida de suelos muestra un estrecho acercamiento con el promedio de la parcela pequeña de pastos, la cual se encuentra espacialmente muy cerca de la microcuenca. Este resultado hace que los datos de ambos monitoreos sean consecuentes entre sí, y que, por lo tanto, se les puede considerar como resultados muy confiables. Es importante notar que las «trampas de sedimentación» elaboradas en la base de cada árbol, cumplen en buena forma con la reducción de la escorrentía y, principalmente, con la sedimentación de las partículas de suelo arrastradas en ésta.

Los resultados de la microcuenca de tabaco se muestran como los más altos. El promedio obtenido (4.43 ton/ha/año) es bastante semejante al de las parcelas pequeñas de tabaco (6.5 ton/ha/año); la diferencia de unas 2 ton/ha/año entre ambos resultados hace que, igualmente al caso de pasto-cítricos, sean datos consecuentes entre sí, por lo que son bastante representativos de la pérdida real de suelo que se da en el cultivo de tabaco-maíz-frijol.

El comportamiento de la erosión en los experimentos de tabaco se muestra con una variabilidad bastante alta, pero en todo caso siempre indicando montos superiores a los otros usos. Esta variabilidad es producto de cambios en las condiciones de manejo del suelo y cultivo principalmente, ya que, como se mencionó, no se ha encontrado una correlación significativa entre los montos de lluvia, escurrimiento y material transportado.

La parcela de pasto degradado, además de producir relativamente una cantidad bastante alta de suelo, semejante a un cultivo en limpio como el tabaco, y bastante más alto que la erosión en pastos mejor conservados (pasto-cítricos) tiene la particularidad de que los datos para los tres años de registro muestran una variabilidad muy baja. Esto parece ser consecuente con el hecho de que el manejo de esta parcela durante los tres años de registro ha sido el mismo.

Los datos de la parcela de pasto degradado no tienen una «réplica» semejante en las parcelas pequeñas, ya que las condiciones mucho más críticas de degradación, pendiente y manejo no se repiten en dichas parcelas. Los datos comparados con los resultados de la parcela pequeña de pastos y de la microcuenca de pastos-cítricos

reflejan claramente la diferencia en la pérdida de suelos para un mismo tipo de uso, pero con condiciones de morfología, pendiente y manejo diferentes, lo que implica una muy importante diferencia de pérdida.

Al comparar los datos muy semejantes entre sí, del pasto degradado con los datos de la microcuenca y las parcelas de tabaco-maíz-frijol, se deduce el efecto negativo del manejo de suelos y cultivo que implica el sistema de tabaco-maíz-frijol, ya que los efectos de pérdida de suelo de este sistema de cultivo son equivalentes a los que se producen en laderas marginales en estado de semiabandono y con sobrepastoreo, alcanzando incluso montos superiores de hasta 10 ton/ha/año, lo cual es muy elevado para los tipos de suelos que predominan en esta zona.

Los registros correspondientes al año 1995 indican un registro alto en tabaco, intermedio en pastos degradados y bajo en pasto con cítricos. En la microcuenca de pasto degradado se redujo significativamente la cantidad de ganado que pastaba en ella, esto puede haber influido en la reducción de la erosión para este año.

VI. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Los resultados dejan ver que tanto los montos de la erosión como de la escorrentía son a primera vista bajos, sin embargo el verdadero significado de esta pérdida de suelos se debe valorar en relación con las características de los suelos que existen en la zona estudiada. Principalmente, se debe tener en cuenta el espesor de los horizontes productivos (A-AB), el cual sólo alcanza como promedio unos 0.35 m; teniendo en cuenta la abrupta geomorfología de la zona, debemos considerar que este horizonte es realmente muy delgado y altamente vulnerable.

El agricultor no puede permitirse, por lo tanto, el lujo de perder la mínima cantidad de suelo, ya que éste es irrecuperable. No hay realmente una tasa de formación de suelo que compense la que se está perdiendo. Para suelos bajo labranza, Bork (1991) explica que existe un definitivo desequilibrio entre la cantidad de suelo que se erosiona y el que se forma, en favor del primer proceso.

Esta problemática se acrecienta, principalmente, en el tabaco, ya que por el tipo de manejo que necesita este cultivo, el suelo pasa «limpio», siempre desprotegido. Sobre el mismo no se deja «mulch» o materia orgánica que se pueda reincorporar como nutrientes y contribuya en la formación de suelos.

Bork, por otro lado, explica que bajo cobertura de bosque natural la formación de suelo supera a la pérdida del mismo, y en pastos permanentes parece existir un mejor equilibrio entre pérdida y formación de suelos. Podemos hacer una analogía entre bosque natural y cafetales bien desarrollados y manejados (obviamente guardando las distancias en cuanto al manejo y cosecha del café) y se puede asumir que en los cafetales en los cuales se desarrolló el experimento, se pierde sólo el equivalente a 0,3247 mm por año del espesor de suelo.

Por último, los pastos, en promedio, muestran rangos muy semejantes al café, por lo que la pérdida de la capa de suelo es también equivalente a menos del 0.5 mm en un año.

Relacionando lo anterior con lo propuesto por Borjk para el caso de bosques y pastos, se nos permite suponer que los rangos de pérdida de suelo en café y pasto son bastante bajos y por lo tanto «manejables». Hay que agregar, sin embargo, que el sobrepastoreo produce en las zonas de pastos una degradación diferente a la erosión laminar, ya que la misma implica la formación de terracetos, las cuales, al agravarse su presencia en un área dada, representa un aumento de los montos de erosión a niveles bastante altos equivalentes, a suelos que pasan desprotegidos, tal y como ya se mencionó, comparando los datos de pasto degradado con los de tabaco.

La erosión inducida por acciones biológicas, como el caso de las hormigas sompopas o las taltusas (topos), es un factor que en pocas ocasiones se toma en cuenta, sin embargo el mismo, cuando se hace presente, también tiene su influencia en el proceso erosivo.

Se debe valorar el potencial erosivo de las lluvias en función de las características del lugar en el cual ocurren. Para el caso estudiado en Puriscal, la geomorfología dominante asociada a un mal manejo de los suelos puede ocasionar que intensidades de precipitación consideradas «bajas» o «moderadas» para otros lugares provoquen aquí daños muy severos en la degradación de los suelos.

Los pastos bien manejados evidencian valores de erosión laminar «bastante bajos»; y la pérdida de suelo por lo tanto no parece ser el principal problema. El problema estriba, más bien, en que este tipo de cobertura estimula la escorrentía y reduce la infiltración, lo que afecta eventualmente la recarga de aguas subterráneas.

Pastos descuidados en fuertes pendientes y con sobrepastoreo equivalen a tener el suelo totalmente expuesto a su erosión, y a causar serios problemas ecológicos y ambientales, tanto en el sitio como fuera de éste.

El cultivo de rotación maíz-frijol-tabaco representa el uso del suelo más problemático por pérdida de suelos. Estos suelos no sólo se degradan físicamente, sino que es muy probable que se degraden químicamente por lixiviación. También son los que representan la menor escorrentía, por lo que tienen las mayores tasas de infiltración.

Vahrson y Palacios (1993) encontraron que en tabaco, la infiltración alcanza 93% y 88.5% para eventos con volúmenes de precipitación de 41.2 mm, 38.2 mm con intensidades en 5 minutos de 65 mm/h y 60 mm/h respectivamente. Se aprecia que aún para eventos relativamente altos, la infiltración es muy significativa. La pérdida de nutrientes también se da en el material erosionado. De igual manera, estos investigadores encuentran que del total de la pérdida de nutrientes en el material erosionado que

se presenta para pastos, café y tabaco, éstos corresponden a 3.22%, 15% y 81.66% respectivamente.

No se logró determinar una correlación directa entre los eventos de precipitación y la cantidad de suelo perdido por evento. Factores como saturación inicial del suelo, labranza, o cobertura natural condicionan la «respuesta inmediata» entre precipitación y erosión.

La cobertura natural y el buen manejo de los suelos se muestran como unas de las principales formas de controlar el poder erosivo de las lluvias, reduciendo la cantidad de suelo desprendido por impacto y, por lo tanto, disponible para ser transportado por la escorrentía.

El sistema de terrazas tiene influencia en la reducción de la escorrentía y estímulo de la infiltración. Sin embargo, para cultivos en limpio, el método es efectivo solamente en forma parcial para el control de la erosión, ya que se dejan los suelos expuestos al impacto directo de las gotas de lluvia, lo que causa el desprendimiento del mismo.

Los eventos de precipitación en 1995 fueron excepcionales. Aportaron un 34% más de agua que el promedio. Los montos de erosión ocurridos indican que las obras de conservación no fueron suficientes para contener las escorrentías presentadas durante este año.

Para temporadas de lluvias extraordinarias, se resalta el efecto combinado que la cobertura y las terrazas tienen en la reducción de la erosión (café), en contraposición con usos como el pasto en el cual no se utilizan terrazas. Por lo tanto, sólo la cobertura no es suficiente para reducir la erosión, o sea, que en pendientes muy fuertes el uso de pastos no es del todo conveniente al presentarse eventos extremos (1995). Estos suelos se toman igualmente vulnerables.

Las temporadas mayo-junio y setiembre-octubre son, en promedio, las más críticas en la producción de escorrentía y erosión. Para coberturas permanentes como café o pasto, el problema se reduce significativamente dando mantenimiento a obras físicas como las terrazas o cuidando que no haya sobrepastoreo. Sin embargo, para cultivos en limpio como tabaco-maíz-frijol, los suelos pasan desprotegidos precisamente durante las temporadas mencionadas antes como más críticas.

Las características físicas y químicas de los suelos, en caso de que éstas no sean extremas y mientras se encuentren dentro de los parámetros promedio para una zona dada, parecen no tener influencia predominante sobre otros factores relacionados con la erosión, tales como precipitación, manejo, cobertura y obras de conservación. A pesar de que se detectaron algunas diferencias en las características físicas de los suelos en la finca estudiada, estas diferencias no se reflejaron categóricamente en los resultados de erosión y escorrentía.

Se ha experimentado con la erosión de suelos y la escorrentía en condiciones que podemos considerar cotidianas para los agricultores de la zona de Puriscal. Se ha pretendido influir lo menos posible en el sistema de manejo, formas de labranza, obras de conservación y tipos de cultivos tradicionales de la zona, todo esto con la finalidad de no imponer condiciones ideales de laboratorio, las cuales poco o nada tendrían que ver con las verdaderas formas en cómo laboran sus fincas los agricultores de la zona.

Las obras de conservación aplicadas por el agricultor, cumplen parcialmente con su función de reducir la pérdida de suelos. El café es el uso en el cual las obras de conservación funcionan mejor, ya que su combinación con el alto porcentaje de cobertura del café bien desarrollado reduce las pérdidas de suelo a rangos bastante bajos. En el tabaco-maíz-frijol, las obras de conservación no son suficientes para detener o reducir las pérdidas de suelo, ya que la cobertura foliar es muy baja. Por lo tanto, es necesario, para cultivos en limpio, el diseñar obras de conservación más eficientes, procurando de alguna manera reducir el potencial erosivo de las gotas de lluvia al impactar directamente sobre la superficie; además, se debería fomentar el uso de barreras vivas densas que retengan el suelo que se pierde por escorrentía.

Las obras de conservación «funcionaron bien» mientras las condiciones climáticas permanecieron «normales»; sin embargo, al ocurrir eventos y temporales extraordinarios como los de 1995, estas obras físicas no fueron suficientes para controlar la erosión y escorrentía, principalmente para el cultivo de tabaco-maíz-frijol.

A pesar de que los pastos (bien o medianamente manejados) tienen pérdidas de suelo por erosión laminar relativamente bajas, es necesario indicar que es en este tipo de uso en el cual se presentan las mayores evidencias de degradación en forma de terracetos, cárcavas y remoción en masa. La erosión laminar parece no ser un problema muy serio en este caso, sin embargo, el sobrepastoreo y las fuertes pendientes características de los suelos en ladera fomentan formas de degradación más severas y dramáticas en el paisaje.

Los pastos y los cultivos de rotación en limpio tabaco-maíz-frijol son los usos que más degradan los suelos en Puriscal y suelos en laderas ubicados en el resto del territorio nacional. La pérdida de fertilidad, productividad y la degradación ambiental son acrecentadas significativamente por estos usos.

BIBLIOGRAFIA

- ALFARO, M.; PALACIOS, G.** 1991. Aplicación de la Ecuación Universal de Suelos, a nivel de microcuena, el caso de la Quebrada Pital, Puriscal. In Vahrson, G. et al., 1991. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. 144-163. Heredia, Costa Rica.
- BORK, H.** 1991. Does soil formation compensate soil erosion? In Vahrson, G. et al., 1991. Taller de Erosión de Suelos. 7-10. Heredia, Costa Rica.
- CERVANTES, C.; VAHRSON, G.** 1992. Características físicas y pérdida de suelos y nutrientes en Cerbatana de Puriscal. *Agronomía Costarricense*. 16 (1):99-106. Costa Rica.
- DERCKSEN, P.** 1991. La erosión de suelos en Costa Rica (prólogo). In Vahrson, G. et al., 1991. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. Heredia, Costa Rica.
- FAUSTINO, J.** 1994. Erosión Hídrica y Lixiviación de una Rotación Frijol-Maíz con prácticas de conservación de suelos, en tierras de laderas, Turrialba, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- VAHRSON, G. Y CERVANTES, C.** 1991. Tasas de escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal, Costa Rica. In Vahrson, G. et al., Memoria del Taller de Erosión de Suelos. 116-144. Heredia, Costa Rica.
- VAHRSON, G. Y PALACIOS, G.** 1992. Datos complementarios de erosión, escorrentía y pérdida de nutrimentos en Cerbatana de Puriscal, resultados 1991. *Agronomía Costarricense* 17(2) 1993. San José, Costa Rica.
- VAHRSON, G. Y PALACIOS, G.** 1993. Erosión y pérdida de suelos: resultados de mediciones durante el año 1992 en Cerbatana de Puriscal. Informe interno mimeografiado. UNA. Heredia, Costa Rica.
- WISCHMEIER, W.; SMITH, D.** 1978. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains (Agriculture Handbook N° 537), U.S. Department of Agriculture. Washington D.C. USDA.