

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/337796305>

Una Metodología para Determinar la Afectación del Suelo por Erosión Hídrica en Potreros y Parcelas Agrícolas

Book · December 2014

CITATIONS

2

READS

548

3 authors, including:



[Rafael Blanco-Sepúlveda](#)

University of Malaga

39 PUBLICATIONS 222 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



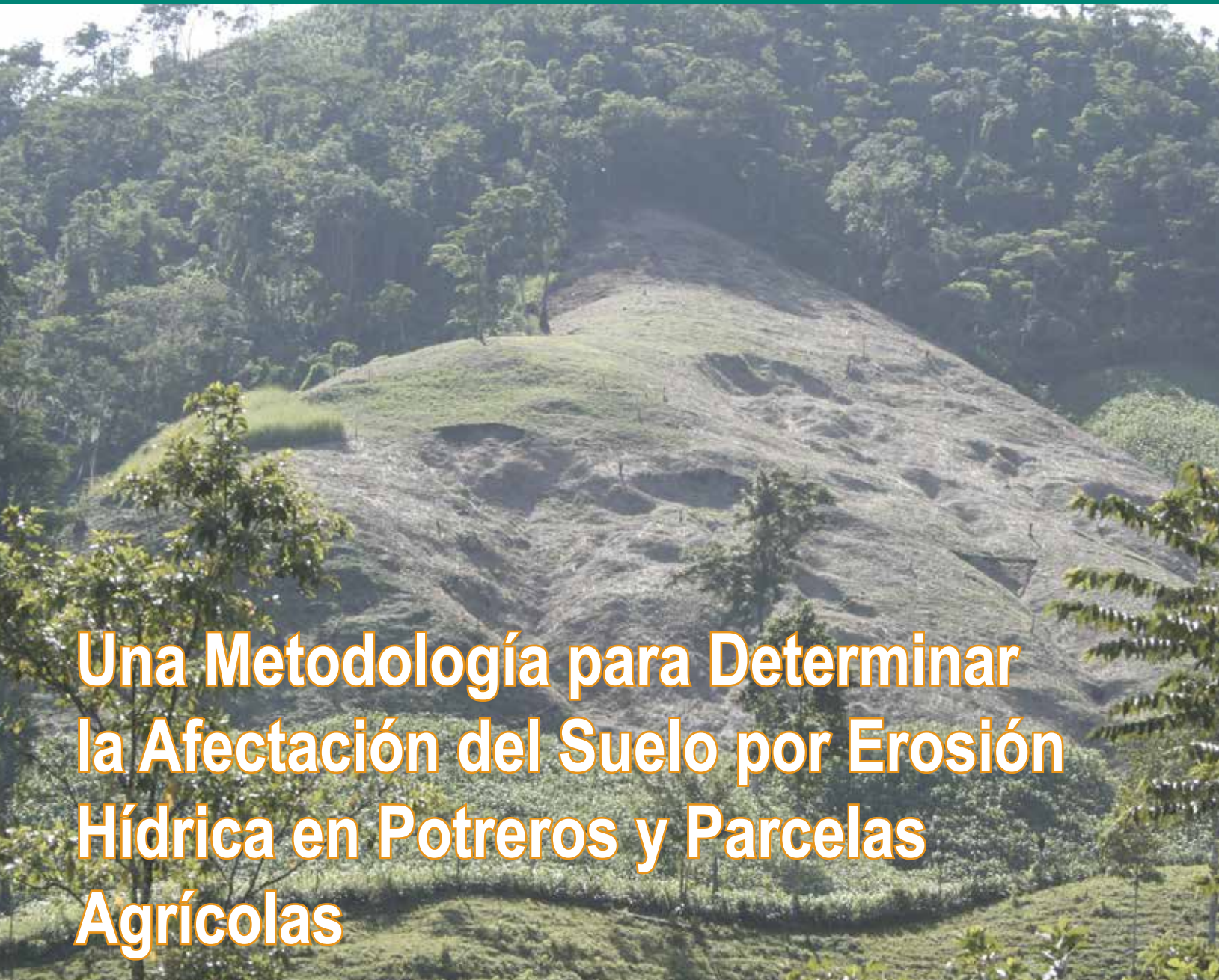
Actions looking for the sustainable agricultural development and food security in vulnerable rural communities of Chimaltenango (Guatemala). [View project](#)



Transfer-monitoring-evaluation of soil erosion control measures for sustainable agricultural development in rural communities with high vulnerability to climate change in Chimaltenango (Guatemala) [View project](#)



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

A photograph of a hillside showing significant soil erosion. The top of the hill is covered in a dense forest, but the middle section is a large, exposed, light-colored area with deep, winding gullies and rills, indicating water runoff. The foreground shows a grassy slope with some trees.

Una Metodología para Determinar la Afectación del Suelo por Erosión Hídrica en Potreros y Parcelas Agrícolas

Serie técnica. Informe técnico no. 403

Una Metodología para Determinar la Afectación del Suelo por Erosión Hídrica en Potreros y Parcelas Agrícolas

Rafael Blanco Sepúlveda
Andreas Nieuwenhuyse
Amílcar Aguilar Carrillo

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Programa Ganadería y Manejo del Medio Ambiente
Turrialba, Costa Rica
2014

CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en las páginas de este documento. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en este documento, siempre y cuando se cite la fuente.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2014

ISBN 978-9977-57-642-8

631.45

B641

Blanco Sepúlveda, Rafael

Una metodología para determinar la afección del suelo por erosión hídrica en potreros y parcelas agrícolas / Rafael Blanco Sepúlveda ; Andreas Nieuwenhuys ; Amílcar Aguilar Carrillo – 1ª ed. – Turrialba, C.R : CATIE, 2014.

40 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 403)

ISBN 978-9977-57-642-8

1. Suelo - Erosión por el agua. 2. Deterioro del suelo. 3. Manejo del suelo - Métodos y técnicas. 5. América Central. I. Nieuwenhuys, Andreas II. Aguilar Carrillo, Amílcar III. CATIE IV. Título V. Serie.

Créditos

Agradecimiento

Los autores agradecen a los técnicos y productores de la región del Trifinio (zona transfronteriza entre Guatemala, El Salvador y Honduras) y de los municipios de Muy Muy, El Cuá y Waslala en Nicaragua que en los talleres de aprendizaje realizaron varias recomendaciones para mejorar la utilidad práctica de la metodología.

Revisores:

Francisco Jiménez

Jesús Vías Martínez

Corrección de estilo:

Oficina de Comunicación del CATIE

Diseño y diagramación:

Silvia Francis, Oficina de Comunicación del CATIE

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO	7
3. UNA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA AFECTACIÓN DEL SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA.....	16
4. ESTUDIOS DE CASO EN CENTROAMÉRICA QUE UTILIZARON LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	29
5. BIBLIOGRAFÍA.....	34
6. ANEXOS	36

1. Introducción

La erosión hídrica es uno de los problemas más importantes en las zonas montañosas de Centroamérica (Oldeman *et ál.*, 1991; Scherr, 1999). Afecta al suelo (la base de la producción agrícola y pecuaria) de manera casi irreversible, y solo es posible remediarla en plazos mayores que 100 años. Por lo tanto, prevenir la erosión hídrica del suelo es crucial para desarrollar una producción más sostenible.

Con el fin de poder implementar medidas efectivas de conservación del suelo es importante que los actores del sector agropecuario (p. ej., productores, técnicos, promotores, investigadores) reconozcan los rasgos de la erosión en el campo. Muchos de ellos no reconocen fácilmente los rasgos de la erosión, probablemente porque se han familiarizado con ellos y les parecen rasgos normales de la superficie del suelo. A veces, estas personas perciben claramente los problemas derivados de la erosión, pero no la erosión en sí misma. Por ejemplo, Tefera y Sterk (2010) estudiaron la percepción de los problemas de las familias productoras en las montañas del oeste de Etiopía y encontraron que las familias ubicaban a la erosión por debajo del incremento en el precio de los fertilizantes y de la pérdida de productividad de sus tierras. Concluyeron que las familias son conscientes de la pérdida de productividad de sus tierras y de la necesidad de fertilizantes, pero no de que la erosión puede, en gran medida, causar pérdida de fertilidad del suelo.

Lograr sensibilizar a las familias productoras sobre el problema de la erosión es un desafío para muchos proyectos de cooperación para el desarrollo, pero son las familias las que tomarán la decisión de implementar prácticas para controlar la erosión. Por lo tanto, el proyecto Mesoterra del CATIE (2009-2012) usó la metodología de aprendizaje grupal conocida como “escuelas de campo” (ECA) para concientizar a las familias productoras sobre la problemática de la erosión del suelo en zonas de ladera de Nicaragua, Honduras y Guatemala. Al inicio, se requirió investigar las causas de la erosión del suelo en el área de trabajo y valorar el grado de afectación. Los resultados de esta valoración sirvieron de base para definir el contenido de la capacitación sobre mejores prácticas de conservación de suelos, el cual se promovió en las ECA posteriormente.

Las metodologías de medición de la erosión difieren en precisión, equipamiento y costo. Muchas veces, medir la erosión con técnicas precisas tiene un costo elevado, debido al equipamiento necesario, a los gastos en personal, y a la duración de la medición. Además, es difícil que las pocas mediciones que se suelen obtener con este tipo de métodos sean representativas para toda una zona, cuando en una zona de trabajo existen grandes diferencias ambientales y de manejo. No obstante, existen métodos sencillos y baratos que se pueden aplicar en un gran número de fincas, lo que permite obtener suficientes datos para considerar que los resultados obtenidos son fiables y representativos (Stroosnijder, 2005).

Con base en las experiencias del proyecto Mesoterra del CATIE (financiado por la Embajada de Noruega) e investigadores de la Universidad de Málaga en España (cooperación financiada por el Vicerrectorado de Comunicación y Proyección Internacional) se elaboró este manual, el cual presenta una metodología en la que se analiza el estado actual de la erosión hídrica del suelo de manera cualitativa, a partir de indicadores visuales. La metodología es de bajo costo, ya que no requiere infraestructura; es sencilla, como se ha probado al ser usada tanto por investigadores como por técnicos agropecuarios de nivel medio; y es rápida de aplicar.

Si bien existen otros métodos, estos se limitan a realizar clasificaciones cualitativas del estado de la erosión del suelo a partir de la identificación y cuantificación de indicadores visuales (Stocking y Murnaghan, 2003; Illgner, 2008; Mutekanga *et ál.*, 2010), y no disponen de una metodología de muestreo que permita establecer que los resultados obtenidos son representativos para un determinado uso de la tierra en una región.

Se aclara que este manual no presenta el tema de la erosión eólica (producto del viento), ya que es de menor importancia en Centroamérica y no se cuenta con suficiente información al respecto.

Se espera que este manual permita lograr un mejor entendimiento de la erosión hídrica y una mejor preparación del personal técnico para discutir el tema con las familias productoras, de manera que éstas puedan tomar mejores decisiones de manejo del suelo.

2. La Erosión Hídrica del Suelo

¿Qué es la erosión hídrica del suelo?

La erosión hídrica del suelo se define como la pérdida de tierra en un determinado sitio por la acción del agua.

NOTA: Es importante entender que “erosión” no siempre significa una pérdida de materiales de una parcela, aunque sí de un determinado punto. Los procesos erosivos por la acción del agua pueden arrastrar los materiales a larga distancia (hasta una quebrada o río) o a corta distancia (pocos centímetros o metros), lo que produce una reducción de la profundidad del suelo en unos lugares de la parcela y un aumento en otros.

Es importante destacar que, en terrenos situados en pendiente, la erosión es un proceso natural y siempre está presente (aun bajo bosques). Sin embargo, el uso de terrenos no apropiados o el uso de malas prácticas agropecuarias pueden acelerar los procesos de erosión. Por lo tanto, se puede diferenciar la erosión natural y la erosión acelerada según su origen (Houghton y Charman, 1986).

- **La erosión natural** es la que se produce en un medio no alterado por la acción humana, y depende de la interacción entre las lluvias, la vegetación (como cobertura protectora), la topografía del terreno, el tipo de roca o de suelo y, eventualmente, de cualquier acción natural catastrófica (p. ej., terremoto, erupción volcánica o tormenta extrema). Excepto en terrenos con pendientes muy inclinadas o en suelos formados sobre rocas muy inestables, la velocidad de formación de suelo es mayor que la velocidad de la erosión, lo que compensa las pérdidas de suelo por la erosión.
- **La erosión acelerada** es la que se produce en un ambiente que ha sufrido algún tipo de alteración por el ser humano y se encuentra bajo uso agropecuario, forestal, minero, etc., de ahí que también se puede denominar **erosión antrópica**. Esto puede provocar una mayor velocidad de los procesos erosivos.

¿Qué tipos de erosión hídrica se diferencian?

Generalmente, se diferencian los siguientes cuatro tipos de erosión hídrica:

1. Movimientos en masa
2. Erosión por salpicadura
3. Erosión laminar
4. Erosión en surcos y cárcavas

1. Movimientos en masa

Se trata de movimientos de tierra que afectan a grandes volúmenes de materiales (suelos, rocas, cultivos, árboles), que se desprenden y descienden a lo largo de una ladera. Estos desplazamientos son provocados por la inestabilidad de la ladera. Los movimientos en masa provocan una significativa e inmediata inestabilidad de la tierra; destruyen cultivos, pastos o áreas forestales, y reducen la superficie de tierra disponible para las actividades agropecuarias. Generalmente, se clasifican como deslizamientos o derrumbes.

En un *deslizamiento* se desprende y desliza un gran volumen de tierra, roca y vegetación en una superficie estable, llamada “superficie de deslizamiento”. El material se mueve como un bloque (una masa única) y no como varios elementos. El resultado es un “nicho de deslizamiento”, el cual es la parte de la ladera que ha perdido los materiales, y una “masa deslizada” (los materiales arrastrados) que, al no encontrarse saturada de agua, suele mantener (parte de) sus características originales (Figuras 1 y 2).

En un *derrumbe* se desplaza tierra, roca y vegetación pendiente abajo (muchas veces, casi verticalmente) en forma suelta (no en bloque, como sucede en el deslizamiento). Los derrumbes son frecuentes en zonas de sustrato rocoso inestable (fracturado, afectado por fallas, orillas de caminos, etc.). El resultado es una masa caótica de materiales sueltos depositados al pie de la ladera (Figura 3).



Figura 1. Ladera afectada por varios deslizamientos en Waslala, Nicaragua.

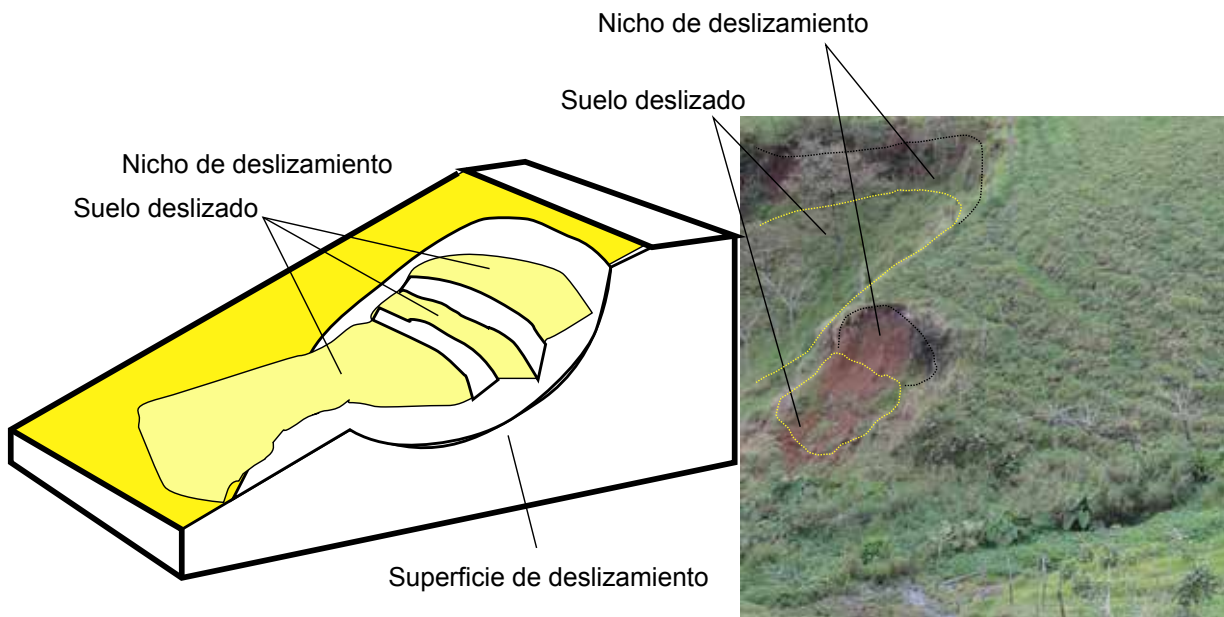


Figura 2. Esquema y fotografía con dos deslizamientos, uno activo (al frente) y otro estabilizado (al fondo) en Pacayas, Costa Rica.



Figura 3. Panorámica (izquierda) y detalle (derecha) de un derrumbe en Chiquimula, Guatemala.

Los movimientos en masa se pueden presentar con cualquier uso de la tierra, ya que son causados por la geología y el clima, principalmente. Los eventos naturales que suelen ocasionar estos movimientos son los terremotos o las lluvias extremas (p, ej., tormentas con lluvias muy intensas, huracanes o el paso de ondas de baja presión).

No obstante, el uso de la tierra también puede tener cierta influencia. Se ha observado que en los usos donde dominan especies de plantas de raíces superficiales (como cultivos anuales o ciertas especies de pastos) generalmente hay mayor ocurrencia de estos movimientos, en comparación con los usos donde domina una vegetación con raíces profundas (como bosques o cafetales con muchos árboles de sombra). Por lo tanto, la presencia de movimientos en masa puede estar relacionada con un uso inapropiado de la tierra.

2. Erosión por salpicadura

La erosión por salpicadura se origina por el impacto de la lluvia sobre el suelo. La energía cinética del agua de lluvia depende del tamaño y de la velocidad de las gotas de agua, y de la intensidad de la lluvia. Se considera que, en condiciones de suelo descubierto, es uno de los factores más importantes en la génesis de la erosión (Lal, 1981). La energía liberada en este impacto sobre el suelo descubierto puede romper los agregados poco estables del suelo y “lanzar” las partículas desagregadas por la gota de agua a 1 m o menos de distancia. Es importante destacar que este proceso se puede presentar tanto en terrenos planos como en pendientes, pero que solamente en los terrenos con pendientes genera pérdidas del suelo, sobre todo en combinación con la erosión laminar o la erosión en surcos.

En algunos tipos de suelo, las partículas desplazadas pueden formar costras al secarse, las cuales sellan la superficie del suelo. Esto reduce la capacidad de infiltración y aumenta la erosión (Figura 4).

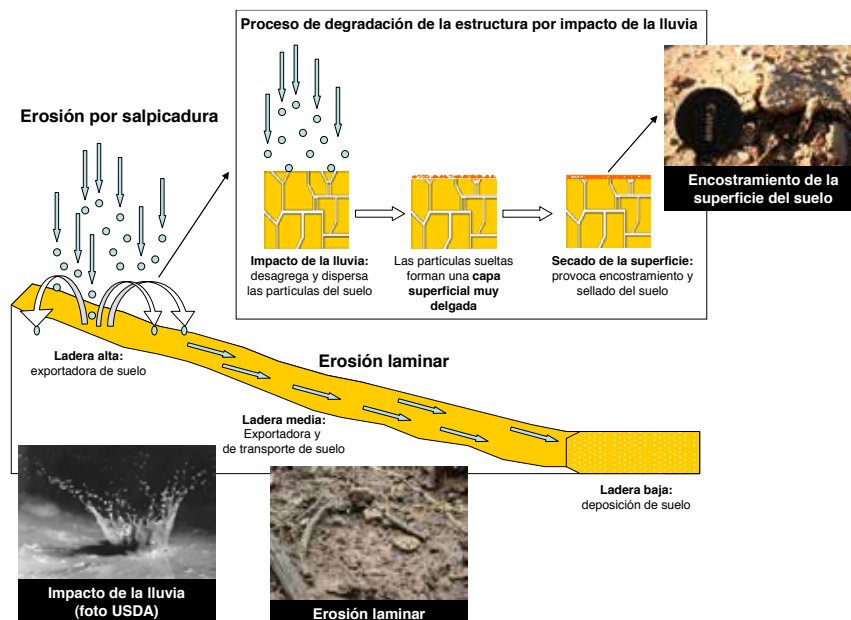


Figura 4. Esquema de la erosión por salpicadura y laminar, y detalle del proceso de degradación de la estructura por impacto de la lluvia.

NOTA: El grado de destrucción de los agregados del suelo por la lluvia depende de la estabilidad de la estructura. Si la estabilidad es alta, el suelo resiste mejor el impacto de la lluvia sin desagregarse o, si llega a romperse, lo hace en agregados de menor tamaño. En este caso, se mantienen las funciones de los agregados, lo que favorece la infiltración de la lluvia (Porta *et ál.*, 1999). Sin embargo, si la estabilidad es baja, el suelo se disgrega en partículas sueltas (arenas, limos y arcillas) (Kemper y Rosenau, 1986) que pueden ser arrastradas más fácilmente por el agua y aumentar la erosión.

Cabe destacar que la materia orgánica (humus) del suelo juega un papel fundamental en la formación y estabilidad de la estructura del suelo. El humus favorece la porosidad y estabilidad de los agregados; en parte, porque puede retener alrededor de 15 veces su peso en agua (Navarro y Navarro, 2000). Por lo tanto, su contenido influye en el balance entre la infiltración y la escorrentía del agua de lluvia pues los altos contenidos de materia orgánica favorecen la infiltración y el almacenamiento de agua en el suelo, mientras que los bajos contenidos favorecen los balances negativos y el predominio de la escorrentía.

Algunas acciones (como el laboreo del suelo o la sobrecarga ganadera) alteran la estructura original del suelo y favorecen su desestabilización. Particularmente, la roturación del suelo altera la porosidad y reduce el contenido de materia orgánica al favorecer su mineralización, lo que provoca un aumento de la inestabilidad estructural. Las herramientas rompen la estructura original de la superficie del suelo a una profundidad variable (que depende de la herramienta utilizada). La rotura de la estructura original desagrega el suelo y puede generar sobre todo erosión por salpicadura y laminar, pero también erosión en surcos. Las herramientas más utilizadas son las siguientes:

- El machete pando y el de corte (que se suelen utilizar para el control de maleza) desagregan el suelo a una profundidad de 2 a 3 cm, y su uso favorece la formación de una estructura semejante a la granular (<1 cm).
- La piocha y el azadón (usados para preparar el terreno para la siembra) desagregan el suelo a una mayor profundidad y generan agregados en forma de grandes terrones de tamaño variable. Cuando el azadón se usa para manejar malezas y aporcar, no forma terrones pero sí rompe los primeros centímetros de la estructura superficial.
- El chuzo, el espeque, la macana y el bordón (usados para la siembra de maíz y frijol, y para el abonado) dejan pequeños terrones en el suelo.
- El arado (usado en la preparación del terreno para la siembra) rompe la estructura del suelo a una profundidad que puede alcanzar los 20 cm (al arar con bueyes) o más (al arar con tractor). El arado también puede tener un efecto similar al de la piocha o al del azadón en determinados suelos, con la diferencia de que los terrones se depositan en filas.

3. Erosión laminar

La erosión laminar se genera cuando la superficie del suelo se satura de agua. Cuando la cantidad de agua de lluvia es tan elevada que sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo, el agua fluye por la superficie de la ladera como una capa muy delgada de agua (“agua de escorrentía”). Es importante aclarar que el flujo no es una lámina de agua continua y uniforme que baja a lo largo de la ladera, debido a que se divide por las pequeñas ondulaciones de la superficie del suelo y por obstáculos (como rocas y restos vegetales). Cuando la fuerza del escurrimiento supera la fuerza de la gravedad de las partículas de suelo, estas pueden ser arrastradas y producir erosión hídrica. Esta fuerza de escurrimiento depende de la cantidad e intensidad de las lluvias, y de la inclinación del terreno (“pendiente”).

NOTA: La forma de la ladera también influye en la erosión, debido a los cambios en el grado de pendiente. De manera general, en las laderas cóncavas se puede presentar erosión en la pendiente superior y deposición de partículas del suelo al pie de la ladera donde la pendiente se reduce; en las laderas convexas predomina la erosión del suelo en diferentes grados; y en las laderas rectas se presenta erosión a lo largo de toda la ladera (Figura 5).

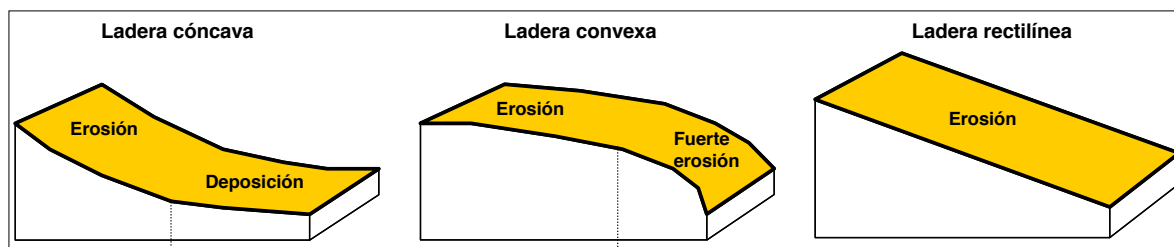


Figura 5. Forma de ladera y dinámica erosiva.

La erosión laminar actúa de forma selectiva, y arrastra sobre todo las fracciones más finas y livianas del suelo (arenas finas, limos, arcillas y pequeños agregados). Generalmente, empieza arrastrando las partículas del suelo disgregadas por la erosión por salpicadura. Estas partículas, a su vez, rompen otros agregados y arrastran nuevas partículas de suelo. Cabe destacar que la escorrentía superficial también se puede dar sin arrastre de suelo (en este caso, no se produce erosión).

4. Erosión en surcos y cárcavas

El agua de lluvia que cae en una ladera y que no logra infiltrarse escurre sobre el terreno y puede concentrarse en flujos (“arroyos”), debido a las ondulaciones naturales o artificiales del terreno. Estos flujos concentrados de agua pueden arrastrar al suelo y formar pequeños canales llamados “surcos” o “regueros”, cuya profundidad puede alcanzar los 30 cm (Figura 6).



Figura 6. Surco en terreno arado en El Cuá, Nicaragua.

La formación de surcos depende de diferentes factores:

- La intensidad de la lluvia —los surcos se pueden formar cuando las lluvias son particularmente intensas.
- La pendiente del terreno —la erosión en surcos se favorece cuando la velocidad del agua de escorrentía es alta (dependiendo de la pendiente del terreno y de la intensidad de la lluvia). A medida que la pendiente aumenta, la escorrentía superficial también aumenta y afecta la infiltración, ya que se reduce el tiempo disponible para la filtración del agua de lluvia (ISSS, 1996).
- La textura del suelo —los suelos con texturas pesadas (texturas arcillosas) suelen ser más propensos a formar surcos, incluso en pendientes de reducido valor (ISSS, 1996), pues muchas veces tienen una capacidad de infiltración de agua limitada.
- La rugosidad del terreno —la rugosidad provocada por la presencia de pequeños obstáculos en la superficie (rocas, plantas, restos vegetales, etc.) puede formar surcos cuando el obstáculo divide la corriente de agua superficial y la concentra en flujos (ISSS, 1996), o cuando el flujo de agua pasa por encima del obstáculo y, al caer, cava un pequeño hoyo en el suelo (originando un surco). Sin embargo, también es posible que un terreno de elevada rugosidad disminuya la concentración de la escorrentía en forma de surcos, porque una elevada densidad de obstáculos puede reducir la velocidad de escorrentía.
- Las labores agrícolas —la presencia de surcos es más notoria en suelos desagregados, como ocurre cuando se labora o mecaniza el suelo (p. ej., cuando se ara en el sentido de la pendiente).

NOTA: Bienes (1996) establece la siguiente relación entre la velocidad de escorrentía y el tipo de erosión:

- Una velocidad de escorrentía menor que 4 cm por segundo sólo es capaz de generar erosión laminar.
- Una velocidad de escorrentía mayor que 30 cm por segundo favorece un flujo más turbulento y la erosión en surcos.
- Una velocidad de escorrentía de entre 4 y 30 cm por segundo puede favorecer la coexistencia de ambas formas de erosión.

Las cárcavas se forman igual que los surcos, pero son de mayores dimensiones (Figura 7). Generalmente, se usa el término cárcava cuando la profundidad es mayor que 30 cm (ISSS, 1996) o 50 cm (NSSH, 2008), y cuando su tamaño los hace más permanentes. Es decir, el arado y algunas otras herramientas pueden destruir surcos, pero no cárcavas (ISSS, 1996; Stocking y Murnaghan, 2003); a lo sumo, las herramientas pueden disimular los márgenes redondeándolos, pero la ondulación del terreno (dada la significativa pérdida de suelo) evidencia la existencia de cárcavas. La anchura es de dimensión variable y no se suele establecer como criterio de diferenciación.



Figura 7. Cárcava en cultivo de maíz en El Cuá, Nicaragua.

NOTA: La anchura de los surcos y las cárcavas aumenta cuando ocurren pequeños deslizamientos en sus paredes. Estos son provocados por la inestabilidad de los taludes, a medida que la erosión excava más en el terreno. Una buena práctica para evitar la evolución de las cárcavas sería mantener una cubierta vegetal perenne, ya que las raíces de la vegetación ayudan a amarrar el suelo y estabilizar la cárcava.

En general, la erosión en surcos y cárcavas produce pérdidas de suelo de forma más rápida que la erosión por salpicadura y laminar. Debido a que la erosión en surcos y cárcavas tiene que ver con flujos concentrados de agua, puede arrastrar todas las fracciones del suelo y disminuir más rápidamente su profundidad y fertilidad.

En los potreros, el pastoreo y el comportamiento del ganado pueden acentuar los drenajes naturales existentes y convertirlos en cárcavas. Por ejemplo, partes de una ladera por donde escurre el agua de lluvia pueden convertirse en cárcavas ya que el ganado camina y pastorea con frecuencia en ellas; esto reduce la cobertura vegetal y compacta el suelo, que son condiciones que favorecen el arrastre del suelo. Una vez formadas las cárcavas, el ganado las mantiene activas cuando camina en ellas y usa las paredes para rascarse. También es frecuente que el tránsito de ganado forme senderos que se acentúan con las lluvias. Por ejemplo, es común la presencia de surcos o cárcavas en caminos de ganado erosionados que van hacia lugares de uso frecuente (corrales, lugares donde toma agua, etc.) (Figura 8).



Figura 8. Cárcava (izquierda) y surcos de erosión en un paso frecuente de ganado en Olanchito, Honduras.

NOTA: En los potreros con pendientes mayores que 45% (aproximadamente), el ganado bovino transita y pastorea en forma (casi) perpendicular a la pendiente para evitar resbalones o caídas, lo que hace que se formen “senderos” o “terracillas de vaca”. Aunque la presencia de estos senderos no significa necesariamente que haya erosión, el tránsito “concentrado” de ganado en el sendero compacta el suelo y puede reducir la cobertura viva o muerta, lo cual provoca que la superficie del sendero sea más vulnerable a la erosión laminar o por salpicadura. Por otra parte, sobre todo en casos donde los senderos no están completamente perpendiculares a la pendiente, estos se pueden convertir en surcos o cárcavas. A veces, también aparecen pequeños movimientos en masa como consecuencia de resbalones del ganado.

3. Una metodología para determinar la afectación del suelo por erosión hídrica

Como se menciona en la introducción, las metodologías para determinar la afectación del suelo de una parcela o un potrero por erosión hídrica suelen tener un costo elevado y requieren de un largo periodo de medición. Esta sección del manual presenta una metodología rápida, sencilla y barata, que usa indicadores visuales para conocer el estado de la erosión hídrica en una zona. Lo anterior permite muestrear un número elevado de parcelas o potreros, y obtener datos suficientes como para considerar que los resultados obtenidos son fiables y representativos. Por otra parte, en los Anexos 1 al 4 se presentan ejemplos de formularios de campo que pueden ser útiles.

¿Dónde ubicar las parcelas de muestreo?

Una parcela agrícola o un potrero se define como una porción de terreno destinada a un determinado uso. La parcela de muestreo es una porción de terreno que se selecciona para realizar las observaciones de erosión. Con el fin de determinar dónde se ubican las parcelas de muestreo primero, se deben seleccionar los usos de la tierra dominantes en el área de estudio; segundo, se debe revisar bajo qué rangos de pendiente se practica principalmente cada uso, y así establecer los rangos de pendiente por muestrear en cada parcela (p. ej., 0 a 20%, 21 a 35% y 36 a 50%). Este segundo factor determina si la parcela de muestreo coincide o no con la extensión total de la parcela agrícola o del potrero, pues podría ser necesario dividir la parcela o el potrero en diferentes sectores si la pendiente es heterogénea. Por último, puede ser importante muestrear diferentes formas de manejo dentro de los usos seleccionados (p.ej. comparar parcelas donde se siembra frijol en el surco del arado con parcelas sembradas con espeque).

¿Cuántas parcelas se deben muestrear?

En caso de que el estudio se haga con técnicos para obtener una idea general sobre la afectación del suelo por la erosión hídrica, se puede muestrear una sola parcela por cada uso y situación ambiental o de manejo, aunque se aconseja en lo posible muestrear varias parcelas y calcular la media. Sin embargo, si el estudio tiene fines científicos, se deben seleccionar como mínimo tres parcelas de muestreo por cada uso y situación ambiental o de manejo existente, para permitir el análisis estadístico de los datos.

¿En qué momento habrá ocurrido la erosión que se observa en el muestreo?

La presente metodología evalúa la afectación por la erosión hídrica que se observa en el momento en el que se realiza el muestreo. Es necesario tener en cuenta que los movimientos en masa y las cárcavas

en el momento de realizar la observación podrían tener varias años de haberse originado. En el caso de la erosión en surcos, laminar y por salpicadura, la escala temporal es mucho más reducida, ya que sus rasgos son frágiles y, por lo tanto, pueden ser visibles en el campo por poco tiempo, debido a que muchas actividades de manejo o lluvias de intensidad elevada y de larga duración pueden alterar u ocultar los rasgos. Las acciones de manejo más comunes que borran las huellas de la erosión son: pisoteo del suelo por personas o animales, y la rotura del suelo con herramientas como el arado, la macana, el azadón, el machete, etc. En caso que no se realizan labores en la parcela ni se presentan lluvias fuertes que destruyan los rasgos de erosión, es posible que se superpongan varios eventos de lluvia (inclusive, toda una época de lluvias).

Con el fin de valorar mejor el impacto de las lluvias sobre los rasgos de erosión, es útil conocer las lluvias diarias durante el período de muestreo. Si no se dispone de estaciones meteorológicas oficiales en el área de estudio, se recomienda instalar pluviómetros en lugares representativos y lo más cerca posible de las áreas de estudio. Para elaborar e instalar pluviómetros caseros y baratos, se sugiere consultar con especialistas y en la literatura. Además, se recomienda consultar las posibles variaciones locales de las lluvias con las familias productoras.

¿Cuál es el momento óptimo para determinar la afectación por erosión hídrica en algunos usos de la tierra comunes en Centroamérica?

- El momento óptimo para evaluar la degradación por erosión hídrica en parcelas de maíz y frijol es entre dos y seis semanas después de la siembra, cuando se han acumulado los efectos de las prácticas de presembrado y siembra. Para facilitar las observaciones, es deseable que durante la semana anterior a la evaluación hayan caído algunos aguaceros. En esta fase del cultivo además es posible (aunque no seguro) observar el efecto del manejo de las malezas después de la siembra.
- El momento óptimo para realizar la evaluación de la degradación por erosión hídrica en potreros es durante la época de lluvias y justo después de un pastoreo (el consumo del ganado ha reducido la cobertura vegetal, lo que facilita observar el impacto de la erosión y del pisoteo del ganado).
- No existe una premisa especial para realizar la evaluación de la degradación por erosión hídrica en parcelas de café o cacao, con la excepción de que se realice durante la época de lluvia.

¿Cuál es el procedimiento para determinar la degradación por erosión hídrica en un potrero o en una parcela de granos básicos o de cacao?

1. Se recomienda observar el entorno inmediato del potrero o de la parcela para identificar los procesos de erosión que están afectando a la zona, al igual que hablar con la familia productora sobre el manejo del potrero o de la parcela para identificar las causas. En los formularios de campo se incluyen algunas preguntas clave para cada uso del suelo. Sin embargo, la cantidad de preguntas es reducida y cada proyecto (o técnico/investigador) debe analizar si desea hacer más preguntas.

2. Se debe revisar el potrero o la parcela para valorar si es homogénea (como se explica en el párrafo sobre dónde ubicar la parcela de muestreo). Por ejemplo, si una parte de la parcela es casi plana y otra parte es una pendiente pronunciada, se recomienda analizar estos dos sectores por separado. Sin embargo, es importante recordar que la evaluación no debe tomar demasiado tiempo; por lo tanto, se deben analizar solamente aquellos sectores que ocupan una parte significativa del potrero o de la parcela, y aceptar que algunos sectores no se analizarán por la poca superficie que ocupan.
3. Se debe revisar toda la superficie de cada sector a muestrear, y anotar la presencia y las características de movimientos en masa y cárcavas en el formulario de campo.
4. Con el fin de observar la afectación del sector por erosión en surcos y la erosión laminar o por salpicadura, se debe observar un transecto que se ubique en forma diagonal a la pendiente dominante de ese sector (Figura 9).
5. Se deben realizar entre 40 y 60 observaciones en cada transecto. Para lograr esta cantidad, se estima la longitud del transecto y se divide entre el número de observaciones (p. ej., si la longitud del transecto que se logre trazar es unos 150 m y se han planeado 50 observaciones, las observaciones se harán cada 3 m; si la longitud es de 100 m, las observaciones pueden hacerse cada 2 m). Se recomienda disponer de una cinta métrica de 30 o 50 m de longitud para trazar el transecto.
6. Se debe realizar la observación de la erosión en un punto muy pequeño (aproximadamente 1 cm de diámetro). Esto facilita la clasificación de la superficie del suelo, pues a escasa distancia pueda haber mucha variedad de categorías de “erosión” o “no erosión”. Se anota el indicador de “erosión” o “no erosión” observado en el punto en el formulario de campo.
7. Se deben contar la cantidad de surcos que cruza el transecto entre cada dos puntos de observación, y anotar el resultado en el formulario de campo.

NOTA: Si no se dispone de una cinta métrica, puede usar “pasos” y una regla o rama que mide aproximadamente 1 m de largo. Primero, se debe definir la distancia entre las observaciones en el transecto (ver punto anterior). Luego, se debe caminar en línea recta y cada determinado número de “pasos” parar y colocar uno de los extremos de la regla o rama en el punto del zapato. En el otro extremo se realiza la observación. Usar la regla o rama tiene la ventaja que se eviten dificultades por obstáculos como piedras o rocas donde es difícil pararse.

El transecto debe trazarse en forma diagonal con respecto a la pendiente dominante (Figura 9) por dos motivos. En primer lugar, para valorar mejor la erosión en surcos, ya que se atraviesa la parcela cortando la trayectoria que los surcos puedan seguir (un trazado que siga el eje de la pendiente dominante reduce las posibilidades de muestreo de los surcos en la parcela). En segundo lugar, para incluir las partes alta, media y baja de la ladera, porque en cada una de ellas se pueden dar procesos diferentes y, de esta manera, se realiza una valoración representativa (ver también Figura 5).

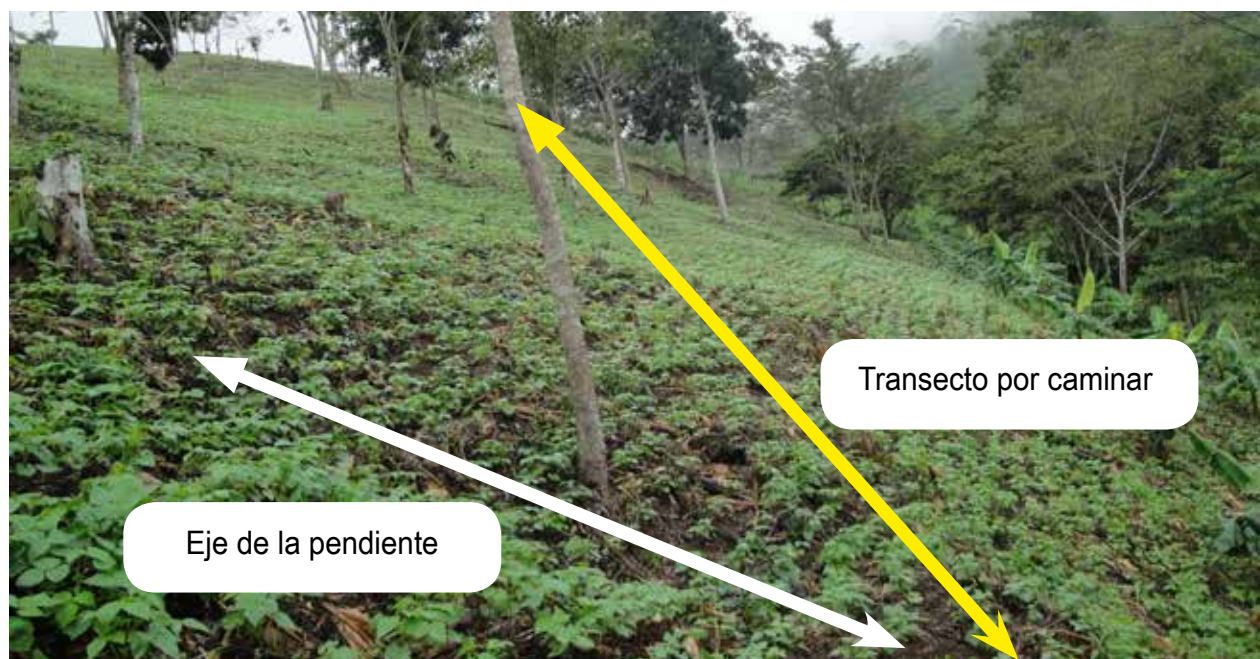


Figura 9. Ejemplo de cómo ubicar un transecto en una parcela de frijol con pendiente homogénea.

¿Cuál es el procedimiento para determinar la afectación por erosión hídrica en una parcela de café?

Las estimaciones en las parcelas de café también se realizan en transectos; sin embargo, la ubicación de los transectos es distinta, ya que la presencia de obstáculos (plantas de café, árboles y musáceas para sombra) dificulta realizar los transectos en forma diagonal a la pendiente dominante y obliga a variar la dirección del transecto.

Los primeros tres puntos del procedimiento son los mismos que para los potreros o las parcelas de granos básicos.

1. En cada sector del cafetal que se quiera valorar, se deben realizar tres transectos de 10 m de largo que se ubican perpendiculares a las filas de plantas de café (Figura 10).
2. El primer transecto se realiza en el centro del sector que se desea evaluar; el segundo, a unos 15 m a la izquierda; y, el tercero, a unos 15 m a la derecha. Estas distancias pueden variar según el tamaño del sector. Por ejemplo, si el sector es muy pequeño, la distancia podría ser de 8 a 10 metros y, si el sector es muy grande, podría aumentarse a 25 m.
3. Se coloca una cinta métrica de 10 m de largo y se realizan observaciones puntuales cada 50 cm, diferenciando los mismos indicadores que en las parcelas de granos básicos o de cacao. Se pueden ajustar las distancias según la apreciación del técnico sobre la variabilidad y el tamaño de la parcela.

- Entre cada dos puntos de observación, se cuenta la cantidad de surcos a ambos lados del transecto, hasta una distancia de 1 m, y se anota el resultado en el formulario de campo. Se cuentan los surcos de esta manera porque los transectos, al ser paralelos a la línea de pendiente, difícilmente cruzarán los surcos, pues éstos normalmente siguen esa misma trayectoria. Entonces, para abarcar más terreno, se observa a ambos lados del transecto hasta 1 m, ya que a esta distancia se observan bien los surcos sin salirse del transecto.

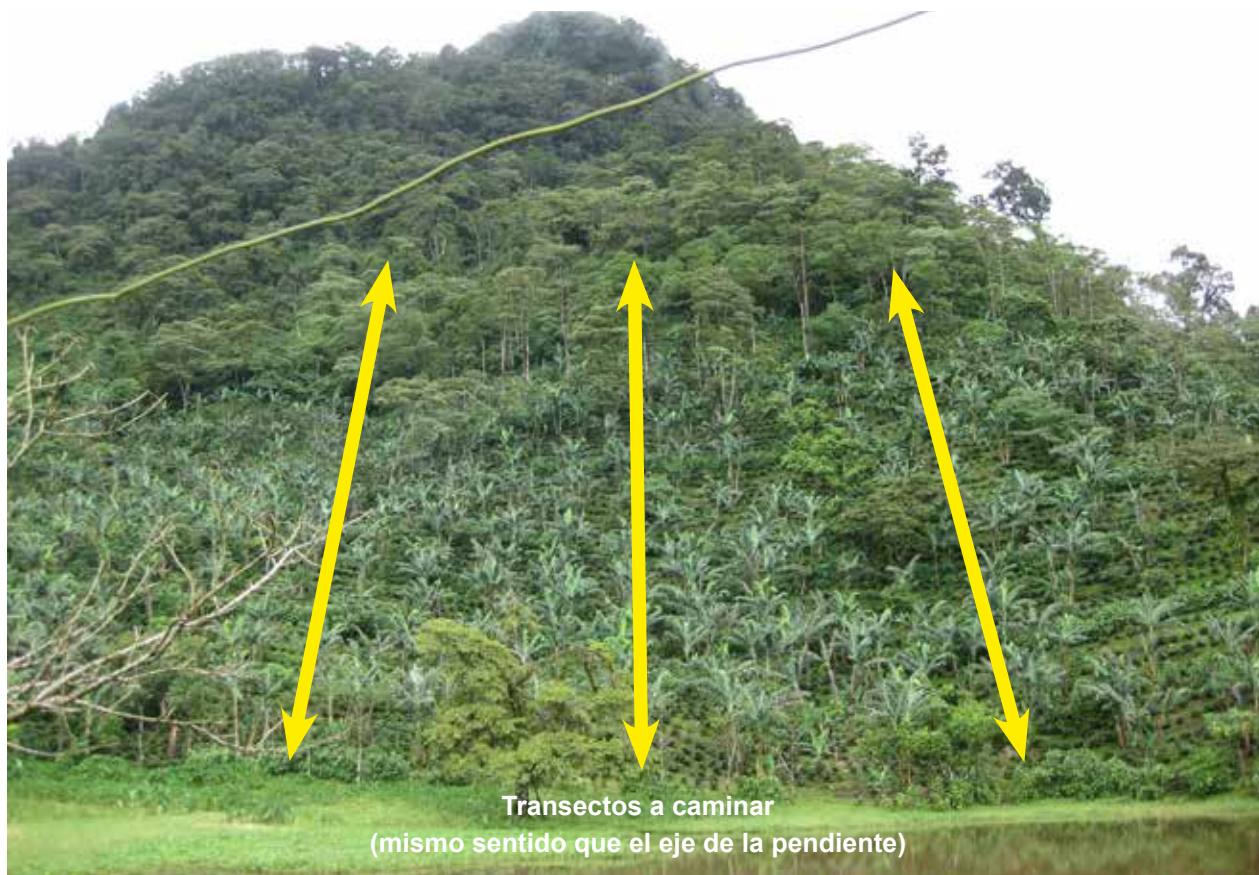


Figura 10. Transectos en una parcela de café.

¿Cuáles indicadores se diferencian en los puntos de observación?

En los puntos donde se realizan las observaciones, se pueden encontrar situaciones que indican si hay o no erosión hídrica. A continuación, se describen los posibles indicadores para ambas situaciones.

Indicadores de que el suelo no está siendo afectado por la erosión

Los siguientes seis indicadores corresponden a situaciones donde se estima que el suelo es estable frente a la erosión (al menos en el momento de realizar la observación):

1. *Suelo estable con cubierta vegetal viva o muerta* (la cobertura muerta incluye hojarasca, rastrojo y material de poda). La vegetación amortigua el impacto de la lluvia y reduce la escorrentía de agua superficial. De esta manera, protege el suelo de la erosión. El suelo por debajo de la vegetación viva es estable (como sucede con muchas especies de pasto). En caso de una cobertura de material muerto, se debe revisar si el material se encuentra consolidado en la superficie del suelo y si, por lo tanto, reduce el riesgo de erosión. Para comprobarlo, se debe intentar de levantar el material muerto. Si es difícil levantarlo, puede que esté mezclado con partículas del suelo o entramado, por lo que será difícil de movilizar y se estima que el suelo es estable y que no se ha producido erosión. Un caso especial es el de vegetación a la que se le ha aplicado herbicida y forma un entramado difícil de mover (Figura 11a).
2. *Suelo no estable con cubierta vegetal protectora viva o muerta*. El suelo por debajo de la vegetación viva puede ser vulnerable ante la erosión laminar (p. ej., el frijol recién nacido, donde solamente los tallos frenan de alguna forma la escorrentía laminar). Por lo tanto, siempre se debe revisar si la vegetación protege el suelo de manera efectiva o no. En caso de encontrar una cobertura de material muerto, se debe levantar y comprobar si ésta se encuentra suelta en la superficie. Si es así, se deduce que todavía no ha tenido influencia para contener el suelo y evitar la erosión. Es común encontrar estos casos donde la vegetación se encuentra suelta en la superficie, ya que ésta es inestable y puede ser que no tenga función protectora frente a la erosión.



Figura 11. Suelo mezclado con restos vegetales superficiales muy consolidados que se estima que es estable frente a la erosión (a); suelo con vegetación superficial en descomposición, indicando estabilidad frente a la erosión (b).

3. *Suelo descubierto sin evidencias de erosión, vulnerable a futuro.* Por ejemplo, una superficie de suelo descubierta, en pendiente, donde recién se roturó con implementos como arado, espeque, machete pando, etc., es vulnerable a sufrir erosión, aun cuando la erosión no se observe (puede que no haya llovido después de la roturación).
4. *Suelo descubierto sin evidencias de erosión, no vulnerable a futuro.* Por ejemplo, una superficie ubicada en un terreno plano (pueden ser pequeñas zonas planas en un terreno montañoso con pendientes irregulares) o en un microrelieve (p. ej., en el fondo del surco de arado, que sigue las curvas a nivel).
5. *Superficie cubierta por estiércol del ganado.* Se deben clasificar estos puntos como *actualmente no afectados* por la erosión, aunque es posible que pudieran haber estado afectados en el pasado y, probablemente, vuelvan a estarlo cuando desaparezcan los excrementos.
6. *Superficie cubierta por piedra o roca.* Se deben clasificar estos puntos como *actualmente no afectados* por erosión, aunque es posible que en el pasado pudieran haberla sufrido. Es importante revisar si la piedra o roca parece estable o si el suelo alrededor se está erosionando (p. ej., porque la lluvia que cae sobre la piedra al escurrirse ocasiona erosión). En este caso, podría ser que se trate de la situación descrita en el indicador 12.

Indicadores de que el suelo está siendo afectado por la erosión por salpicadura y laminar

Los indicadores visuales de estos dos tipos de erosión pueden tener su origen en un proceso en el que se combinan ambos y, por este motivo, se recomienda analizarlos conjuntamente. La presente metodología propone estimar si la superficie del suelo es afectada por la erosión por salpicadura y laminar mediante la identificación de los siguientes indicadores en la superficie del suelo:

1. *Cráteres de erosión.* Se trata de una superficie del suelo “rugosa”, provocada por el impacto de las gotas de la lluvia. Este impacto forma “cráteres de erosión” y dispersa las partículas finas del suelo en todas direcciones (Figura 12a).
2. *Estructura laminar o “costra” en la superficie del suelo.* Se trata de una superficie del suelo dura de escasos milímetros, consecuencia del secado de la superficie que favorece el proceso de “encostramiento” explicado anteriormente (Figura 4); por lo tanto, es un indicador de erosión por salpicadura.
3. *Superficie pulida.* La superficie del suelo puede presentar un aspecto “pulido” o “lavado”, como consecuencia de la erosión laminar que ha llevado todo el material suelto que se encontraba en la superficie del suelo (Figura 12f).
4. *Cambio de color en la superficie del suelo.* Las capas del suelo suelen tener diferentes colores (Figura 12b). Los cambios de color a lo largo de la ladera pueden indicar que se ha producido erosión. La aparición de una capa inferior del suelo (con colores más claros o más rojizos) en la superficie indica que las capas superiores con colores más oscuros (pardos a negros) se han perdido por erosión. Sin embargo, se debe tener cuidado con este indicador, pues es posible que los cambios de roca en una misma parcela puedan dar lugar a diferentes colores en la superficie del suelo y que la erosión no sea la causa.

5. *Pedestales de erosión.* Un pedestal es una pequeña columna de tierra coronada por un fragmento de roca o resto vegetal. Estos fragmentos protegen el suelo que se encuentra debajo e indican que el suelo de alrededor se ha perdido. Es un indicador de erosión por salpicadura y laminar porque los fragmentos protegen el suelo subyacente de la erosión por salpicadura, mientras que la erosión laminar se encarga de moldear las columnas de los pedestales (Figura 12c).
6. *Piedras o rocas que afloran de manera superficial y que están “lavándose” o “exponiéndose más”.* Esta situación puede ser el resultado de una erosión gradual por salpicadura o laminar de la superficie del suelo. A veces, se observa un color diferente de la piedra justo encima de la superficie del suelo, indicando que la exposición de esta parte de la piedra es reciente.
7. *Pavimentos de erosión.* Cuando un suelo contiene mucha grava y piedra, se puede encontrar una superficie de suelo (generalmente, de aspecto pulido) tapizada de mucha grava y piedra porque la erosión laminar se ha llevado las partículas más finas del suelo. La densidad de los fragmentos de roca depende del contenido de gravas del suelo (Figura 12d). Es importante no confundirse con la pedregosidad superficial que presentan los suelos pedregosos. Para evitar la confusión, hay que tener en cuenta que los pavimentos de erosión suelen asociarse con otros indicadores, como los pedestales de erosión y la superficie pulida.
8. *Raíces lavadas en superficie.* La pérdida de suelo por erosión favorece la aparición en la superficie de las raíces de las plantas. Es particularmente significativa la erosión por cascada (Stocking y Murnaghan, 2003) que se produce al pie de los árboles y de las musáceas por el flujo concentrado de agua que baja del tronco (Figura 12e). Este tipo de erosión es frecuente en los sistemas de producción agroforestales, debido a la abundancia de especies arbóreas. Sin embargo, se debe tener cuidado al interpretar la presencia de raíces superficiales como indicadores de erosión, pues es posible encontrar pequeñas raíces superficiales en búsqueda de nutrientes o agua en una superficie de suelo cubierta por una capa de hojarasca en descomposición (Figura 13).
9. *Huellas de pisadas o resbalones de personas o ganado afectados por la erosión.* El caminar de personas o animales, las acciones de manejo y el pastoreo del ganado en parcelas y potreros en pendiente pueden generar huellas en la superficie del suelo (Figura 14a). Conforme aumenta la pendiente, es común encontrar también huellas de resbalones de personas o ganado (Figura 14b). Las huellas de las pisadas no son indicadores de erosión por sí mismas, pero ¡el resbalón sí es un indicador! La superficie del suelo afectada se compacta y, a veces, sobre todo en condiciones de suelo húmedo, se “deforma y se sella” por la presión y el peso de la pisada. El resultado es un suelo amasado que ha perdido su estructura original, lo que reduce la capacidad de infiltración del suelo (superficie sellada) y favorece la erosión.
10. *Una superficie donde se observa la deposición del material erosionado.* La deposición del material erosionado constituye una parte integral de la erosión, ya que la erosión de suelo culmina en la deposición del material en algún punto concreto. El desplazamiento del material no tiene que ser muy grande, quizás solo algunos centímetros. La deposición es favorecida por una disminución en la pendiente o por la existencia de una cobertura vegetal (viva o muerta) que frena el flujo de agua.

NOTA: Haile *et ál.* (2006) diferencian dos tipos de deposición: **difusa y concentrada**. Las **deposiciones difusas** son pequeños depósitos de materiales a lo largo de la ladera, los cuales se producen, sobre todo, por la existencia de una cobertura vegetal muerta que ralentiza el flujo de agua debido a la mayor rugosidad del terreno y genera microrelieves con forma de diques de una menor pendiente. Se pueden observar también en los troncos de arbustos y árboles (Figura 15a), en las rocas, las vallas de parcelas y en cualquier otro material de la superficie que obstaculice el flujo de escorrentía como, por ejemplo, los restos vegetales (Figura 15b). Estas deposiciones son susceptibles ante la erosión, ya que no presentan una cubierta vegetal protectora, por lo que en el próximo evento lluvioso pueden ser afectadas por la erosión. Las **deposiciones concentradas** son depósitos de materiales erosionados, de mayor volumen que los anteriores, que se producen por la disminución del ángulo de pendiente que reduce la velocidad de escorrentía. Las deposiciones concentradas se suelen producir al pie de las laderas de perfil cóncavo y en los fondos de valle.

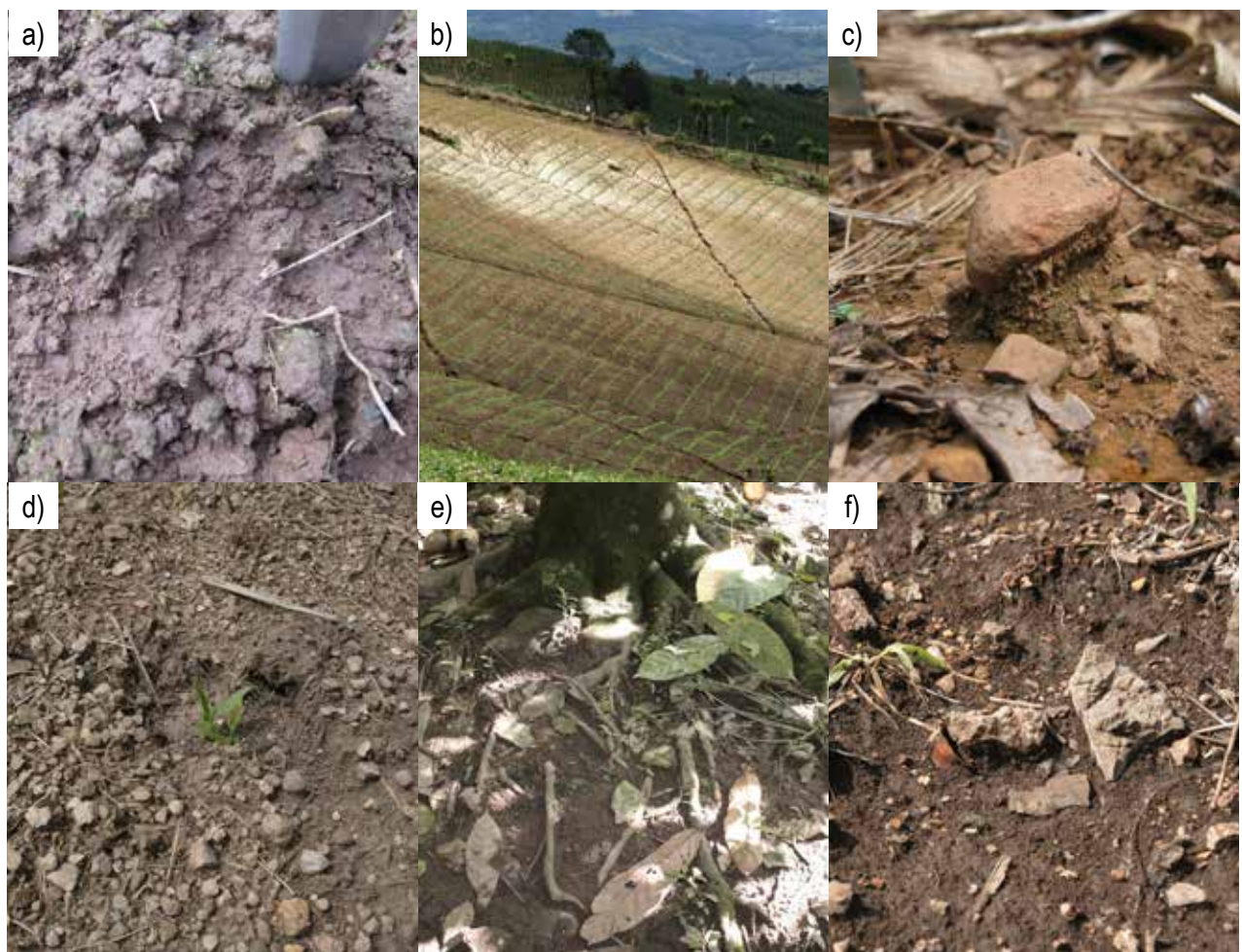


Figura 12. Indicadores visuales de erosión por salpicadura y laminar: cráteres de erosión (a); cambios de color (b); pedestal de erosión (c); pavimento de erosión (d); raíces al descubierto al pie de un árbol de cacao (e); superficie pulida (f).



Figura 13. Ejemplo de pequeñas raíces en la superficie del suelo bajo la hojarasca de café, cuya presencia no se debe a la erosión sino a la búsqueda de nutrientes, en El Cuá, Nicaragua.



Figura 14. Huellas de pisadas (a) y resbalones (b) provocados por animales en pastoreo.



Figura 15. Acumulación de suelo difusa en troncos de café (a) y acumulación difusa favorecida por restos vegetales y afectada por erosión por salpicadura y laminar (b).

¿Cómo analizar los datos e interpretar los resultados de la evaluación?

Los estudiantes o investigadores podrán usar la metodología y analizar los datos según la estadística que más les convenga. Sin embargo, cuando la metodología sea usada por técnicos agropecuarios, se recomienda el siguiente procedimiento:

- Se suman las observaciones de los indicadores 1 al 6 que indican que el suelo **no está siendo afectado por la erosión** y se divide entre el número total de observaciones.
- Se suman las observaciones de los indicadores 7 al 16 que indican que el suelo **está siendo afectado por la erosión** y se divide entre el número total de observaciones.
- Se suma el número total de surcos encontrados en el transecto.
- Una vez obtenidos los resultados, se clasifica la afectación del terreno por los diferentes procesos de erosión hídrica con la ayuda del Cuadro 1. Por ejemplo:
 - a) Si no se han observado deslizamientos o derrumbes en la parcela, significa que “el suelo no está siendo afectado por la erosión a causa de los movimientos en masa”.
 - b) Si se han observado dos cárcavas en la parcela que parecen estar estables, significa que “el suelo está siendo afectado por la erosión en cárcavas en forma leve”.
 - c) Si se han observado tres surcos de erosión en los tres transectos en una parcela de café, y los tres transectos juntos sumaron una longitud de 30 m, la cantidad de surcos por 100 m sería: $3 \div (30 \div$

100) = $3 \div 0,3 = 10$ surcos. Esto significa que “el suelo está siendo afectado por la erosión en surcos en forma severa”.

- d) Si en los transectos se realizaron 55 observaciones, de las cuales 21 indicaban que el suelo **no está siendo afectado por la erosión** y 34 que el suelo **está siendo afectado por la erosión por salpicadura y laminar**, el porcentaje de superficie del suelo afectada es $34 \div 55 = 0,62 = 62\%$. Según la clasificación presentada en el Cuadro 1, esto indica que “el suelo está siendo afectado por la erosión por salpicadura y laminar muy severa”.

Cuadro 1. Clasificación de la afectación por erosión hídrica en la parcela.

PROCESO EVALUADO	CLASIFICACIÓN				
	Erosión muy severa	Erosión severa	Erosión moderada	Erosión leve	Sin erosión
PRESENCIA DE MOVIMIENTOS EN MASA	En más de 5% de la superficie de la parcela se presentan movimientos en masa que no se han estabilizado.	De 1 a 5% de la superficie de la parcela se encuentra afectada por movimientos en masa que no se han estabilizado.	Menos de 1% de la superficie de la parcela se encuentra afectada por movimientos en masa. Las áreas afectadas se encuentran parcialmente estabilizadas (p. ej., por el crecimiento de la vegetación).	La fisiografía del terreno indica que, en el pasado se presentaron movimientos en masa; sin embargo, las áreas afectadas se encuentran estabilizadas.	No se presentan movimientos en masa.
PRESENCIA DE EROSIÓN EN CÁRCAVAS	Se presentan más de cuatro cárcavas en la parcela. Al menos tres de ellas muestran una erosión activa: se observa que las paredes se están erosionando y tienen poca cobertura de vegetación, hay movimiento de material suelto (sedimentos) en el fondo.	Se observan tres o cuatro cárcavas en la parcela. Al menos dos de ellas muestran erosión activa (ver descripción en nivel muy severo).	Se observan una o dos cárcavas en la parcela que presentan erosión activa (ver descripción en nivel muy severo).	Se presentan una o dos cárcavas en la parcela que no presentan erosión activa (ver descripción en nivel muy severo), parecen estar estables.	No se presentan cárcavas.
PRESENCIA DE EROSIÓN EN SURCOS	Se presentan más de doce surcos por cada 100 m del transecto.	Se observan entre nueve y doce surcos por cada 100 m del transecto.	Se observan entre cuatro y ocho surcos por cada 100 m del transecto.	Se presentan entre uno y tres surcos por cada 100 m del transecto.	No se presentan surcos.
PRESENCIA DE EROSIÓN POR SALPICADURA Y LAMINAR	Se presenta erosión por salpicadura y laminar en más de 50% de la superficie.	Se presenta erosión por salpicadura y laminar entre el 30 y el 50% de la superficie	Se presenta erosión por salpicadura y laminar entre el 10 y el 30% de la superficie	Se presenta erosión por salpicadura y laminar en <10% de la superficie.	No hay evidencia de erosión por salpicadura ni laminar.

1. Finalmente, se debe reflexionar sobre el significado de los resultados. Si se presenta erosión “moderada” a “muy severa”, significa que *se está degradando la tierra*. Se debe revisar cada proceso por separado y analizar si la erosión observada es consecuencia del uso y si existen soluciones. Por ejemplo:
 - Si la afectación por movimientos en masa es “severa” o “muy severa”, se puede concluir que la erosión observada es consecuencia de usar un terreno que en realidad no es apto para el uso actual, y que sería mejor cambiar el uso del terreno a uso forestal para proteger mejor el suelo. Esta recomendación pueda aplicarse a todo el potrero o la parcela, o a las partes donde se haya observado la erosión (p. ej., las partes más inclinadas).
 - Si en una pastura la erosión laminar observada parece estar relacionada con el manejo, se deben mejorar aquellos aspectos que están causando la erosión. Por ejemplo, si se estima que la erosión se debe al uso de especies de pastos macolladores o a una alta carga animal, se deben cambiar las especies forrajeras a especies más rastreras o reducir la carga animal.
 - Si en una milpa la erosión observada parece estar relacionada con el manejo realizado a lo largo del ciclo de cultivo, se deben cambiar aquellos tipos de manejo que favorezcan la erosión. Por ejemplo, evitar el uso de implementos que rompan la estructura del suelo, como el arado o la piocha.

4. Estudios de caso en centroamérica que utilizaron la metodología propuesta

La presente metodología de análisis de erosión hídrica del suelo se ha aplicado en varios estudios en Centroamérica, realizados por estudiantes bajo la supervisión de los autores del presente manual. En ellos se diferenciaron los mismos indicadores para las situaciones de erosión o no erosión que se explican en este manual.

Sin embargo, la forma de ubicar los puntos de observación fue diferente en los dos estudios de maíz y frijol. No se usó el transecto como se recomienda en este manual (cuyo punto de partida no se escoge de manera aleatoria), sino que se dividió la parcela de muestreo en cuatro cuadrantes imaginarios, y se seleccionaron tres de ellos al azar. Luego, en cada cuadrante seleccionado, se ubicó en forma aleatoria una cuadrícula de 60 x 60 cm. Finalmente, se realizaron observaciones cada 10 x 10 cm dentro de cada cuadrícula, para un total de 36 observaciones por cuadrícula y 118 observaciones por parcela. De esta manera, se realizó un mayor número de observaciones que el recomendado en este manual para el personal técnico.

A. Análisis de la erosión hídrica del suelo y los factores que influyen en los cultivos de maíz en el valle de Torjá, Guatemala

El estudio fue realizado entre mayo y julio de 2011 en la cuenca del río Torjá, Jocotán, Guatemala (Quiñonez, 2012). La zona de estudio tiene un clima tropical con una precipitación anual de entre 850 y 1.500 mm, y una marcada época seca que inicia en noviembre o diciembre y finaliza en abril o mayo. Debido a la compleja geología de la zona, los suelos son variables pero, generalmente, poco profundos y con mucha pedregosidad. Se estudiaron 16 parcelas de maíz, ubicadas entre los 700 y 1.200 m.s.n.m., y con pendientes de entre 19 y 68%, de las cuales tres se cultivaban con riego y el resto en secano. Todas las parcelas eran manejadas de forma manual, con herramientas como azadón, piocha, espeque, etc.

Los resultados indicaron que la pendiente de ladera y la cobertura de restos vegetales influyeron sobre la erosión, pero de manera independiente. La erosión en surcos presentó una estrecha relación con la cobertura de restos vegetales, estableciéndose que por arriba de 30% de cobertura se incrementa significativamente este tipo de erosión. Para efectos prácticos, se recomienda favorecer la presencia de una máxima cobertura de restos vegetales de la cosecha anterior; por lo tanto, no se deben quemar estos restos o usarlos como alimento para el ganado, sino dejarlos dispersos en la superficie del suelo. Por otra parte, la erosión laminar mostró una cierta relación con la pendiente, pero no se pudo establecer ningún valor umbral de pendiente. Se encontró que la erosión afectaba un promedio de 66% de la superficie. Este resultado se puede interpretar como un indicador de que el cultivo de maíz en la forma en que se realiza

actualmente no es sostenible en la mayor parte de la cuenca, y habrá que considerar otras opciones de uso de la tierra que mantengan una mayor cobertura (viva o muerta) del suelo.

B. Análisis de la erosión hídrica del suelo y de los factores que influyen en el cultivo de café con sistema agroforestal en El Cuá, Nicaragua

El estudio se llevó a cabo en el municipio de El Cuá, del departamento de Jinotega en Nicaragua, durante el periodo lluvioso de 2011 (Delgadillo y Rugama, 2012). Las fincas estudiadas están ubicadas en un relieve montañoso con alturas de entre 600 y 1.000 m.s.n.m. La precipitación promedio anual se estima en unos 2.000 mm, con una época seca entre enero y abril. La temperatura media anual se estima en 23 °C. Se seleccionaron seis fincas cafetaleras, todas con café en producción y usando un sistema de cultivo agroforestal, con sombra mixta de *Musa sp.* e *Inga sp.* Se seleccionaron seis parcelas de muestreo en cada finca, en un intervalo de pendiente creciente (<20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 y >60%), para un total de 36 parcelas.

Los resultados indicaron que el cultivo de café con un sistema agroforestal es bastante efectivo para controlar la erosión a niveles aceptables, ya que tan sólo 10% de la superficie de las parcelas de estudio se encontraba afectada por la erosión. Al analizar los valores de erosión por parcelas, destaca la elevada variabilidad (entre 0,8 y 26%), debida a las diferentes características ambientales de las parcelas de estudio. Los factores ambientales que influyeron en la erosión fueron la pendiente de ladera, la cobertura de suelo con vegetación muerta y la cobertura de sombra de *Inga sp.* Los análisis estadísticos realizados permitieron establecer como valor umbral de erosión 30% de pendiente y 60% de cobertura de vegetación muerta. Es decir, en pendientes mayores al 30% y en parcelas con una cobertura del suelo menor que 60%, la superficie afectada por la erosión se incrementó de forma significativa: la superficie erosionada aumentó de 4 a 12% cuando la pendiente fue superior a 30%, y de 13 a 23% cuando la cobertura de vegetación muerta se redujo por debajo de 60%. La cobertura de sombra de *Inga sp.* no ha mostrado diferencias importantes, lo que no ha permitido establecer ningún valor umbral de erosión para este factor. Por otra parte, es importante señalar que el estudio no incluyó parcelas de café en su fase de establecimiento (los primeros dos años), cuando el riesgo de que se produzca erosión es mayor debido a que la cobertura del suelo suele ser mucho menor que en café en producción y se realizan labores de suelo importantes (siembra y deshierba).

C. Análisis de la erosión hídrica del suelo y de los factores que influyen en los cultivos de frijol con diferentes sistemas de siembra en El Cuá, Nicaragua

El estudio se llevó a cabo en el municipio de El Cuá, del departamento de Jinotega en Nicaragua, durante el periodo lluvioso de 2011 (Delgadillo y Rugama, 2012). Las fincas estudiadas están ubicadas en un relieve ondulado a montañoso, con alturas de entre 350 y 650 m.s.n.m. La precipitación promedio anual se estima en unos 1.500 a 2.000 mm, con una época seca entre enero y mayo. La temperatura media anual se estima en 24 °C. Para el estudio, se seleccionaron 38 parcelas de frijol, de las cuales 22 fueron sembradas usando

el arado con bueyes (la siembra se realiza en el surco del arado) y 16 se sembraron sin laboreo del suelo, utilizando el espeque.

Las pendientes de ladera de las parcelas de muestreo fueron diferentes dependiendo del sistema de cultivo. Las parcelas manejadas con arado presentaron pendientes más bajas (media de 27%) que las parcelas manejadas con espeque (media de 53%), debido a que es más difícil el manejo con arado en pendientes pronunciadas, por lo que se suele optar por la siembra con espeque en este tipo de pendiente.

Los resultados indicaron que en prácticamente todas las parcelas se presentó una erosión del suelo importante; sin embargo, se encontraron diferencias significativas entre las dos técnicas de siembra del cultivo de frijol. El 85% de la superficie de las parcelas sembradas con arado se encontraban afectadas por la erosión, especialmente erosión por salpicadura (64% de la superficie de las parcelas).

Por el contrario, en las parcelas sembradas con espeque la superficie erosionada era de 53%, destacando la erosión por salpicadura que afectó la mitad de esta superficie. Por otra parte, 35% de la superficie no estaba erosionada y protegida por vegetación muerta. Por lo tanto, se puede considerar que el sistema de siembra con espeque para el cultivo de frijol, pese a que no mantiene una elevada cobertura vegetal (viva de 15% y muerta de 32%) es más efectivo para controlar la erosión a niveles aceptables que el sistema de manejo con arado, ya que ha permitido reducir en 32% la superficie afectada por erosión. La erosión por salpicadura y laminar son las formas de erosión más importantes en el área de estudio. Se destaca el hecho de que durante el proceso de muestreo no se registraron pérdidas de suelo derivadas de la erosión en surcos y cárcavas, posiblemente debido a la baja intensidad de las lluvias durante el periodo de estudio.

Asimismo, se observó que la erosión se redujo considerablemente por encima de una cobertura vegetal muerta de 40%. Se concluye que la cobertura vegetal superficial actúa como pantalla protectora frente al impacto de la lluvia; lo que permite anular su energía cinética, favorecer la infiltración, y reducir la escorrentía y la erosión.

La erosión no presentó ninguna relación estadísticamente significativa con la pendiente en las parcelas manejadas con arado, debido a que el arado destruye la estructura del suelo e incorpora la vegetación viva y los restos vegetales en el interior. Esta acción homogeniza la superficie del suelo y favorece la erosión en todos los intervalos de pendiente estudiados, trastocando las posibles variaciones que la pendiente pudiera tener sobre la erosión. Al mismo tiempo, la erosión en las parcelas manejadas con espeque tampoco se relacionó con la pendiente, pero sí lo hizo con la cobertura de vegetación muerta. En este caso, la cobertura vegetal, al actuar como pantalla protectora frente a la erosión, anuló las variaciones de erosión que podrían explicarse por la pendiente.

Los resultados permitieron hacer las siguientes recomendaciones de manejo:

1. Evitar el manejo del suelo con arado y usar la siembra con espeque para evitar la ruptura de la estructura natural del suelo, que es más resistente a la erosión. El uso del sistema de cultivo con espeque (una modalidad de labranza cero) es el método tradicional de cultivo en la zona, por lo que esta recomendación probablemente no genera muchas objeciones por parte de los productores —esto evita los problemas de aceptación de las medidas recomendadas y la adaptación a las condiciones particulares de la zona, como se han dado en otros casos (FAO, 2000).

2. Mantener una máxima cobertura del suelo con vegetación viva o muerta (dejando los restos de las chapas y de la cosecha en la superficie del suelo), evitar el pastoreo y, sobre todo, evitar la práctica de la quema de los residuos vegetales.

D. Análisis de la erosión hídrica del suelo y de los factores que influyen en los cultivos de cacao con sistema agroforestal en Waslala, Nicaragua

El estudio se realizó en el municipio de Waslala, que forma parte de la Región Autónoma del Atlántico Norte de Nicaragua (Ordoñez y Palacios, en preparación). La zona se caracteriza por tener un clima tropical húmedo, con una precipitación promedio anual de 2.000 a 2.500 mm, una corta época seca entre enero y abril y una temperatura media de unos 24 °C. El objetivo fue analizar la influencia sobre la erosión del manejo de la poda en cacao, la pendiente de ladera y la cobertura vegetal del suelo a tres alturas (cobertura de sombra, cobertura inmediata al suelo y a ras de suelo). El estudio fue realizado en 32 parcelas ubicadas entre 250 y 700 m.s.n.m., distribuidas en partes iguales según tipo de poda (buena poda y poda deficiente).

Los resultados indicaron que la erosión no dependía del tipo de poda, pero sí de la pendiente de ladera y de la cobertura vegetal. Los suelos con menos de 40% de pendiente presentaron mucho menos erosión (16 y 20% de la superficie) que los suelos con pendientes superiores a 40% (28%). Estos resultados permiten establecer el umbral de erosión en 40% de pendiente, por encima del cual existe un mayor riesgo de pérdida de suelo. Los suelos con <70% de cobertura presentaron una mayor superficie erosionada (30%), reduciéndose ésta en la misma proporción que aumentó la cobertura vegetal.

E. Análisis de la erosión hídrica del suelo y de los factores que influyen en los potreros en Waslala, Nicaragua

Este estudio fue realizado en la misma zona que el anterior (Ordoñez y Palacios, en preparación). El objetivo fue analizar la influencia del tipo de pasto (natural y mejorado), la pendiente del terreno y la cobertura del suelo con vegetación viva o muerta sobre la erosión. El estudio fue realizado en 32 parcelas, repartidas en partes iguales según tipo de pasto.

Los resultados indican que la erosión no depende del tipo de pasto, sino de la pendiente de ladera y de la cobertura del suelo. Los suelos con menos de 50% de pendiente presentaron 13% de superficie afectada por erosión; un valor considerablemente más bajo que los suelos con pendientes superiores, donde la erosión afectó a 22% (pendiente 50-60%) y 27% (pendiente >60%) de la superficie. Estos resultados permiten establecer el umbral de erosión en 50% de pendiente, por encima del cual existe un mayor riesgo de pérdida de suelo.

Los suelos con <80% de cobertura son los que presentaron la mayor superficie erosionada (28% de la superficie de las parcelas), seguidos por los suelos con 80-90% de cobertura (17%) y >90% (13%). Estos resultados permiten establecer que, para reducir la superficie de erosión del suelo por debajo de 20%, habría que mantener una cobertura vegetal (viva o muerta) superior a 80% de la superficie.

De los cinco estudios, resaltan dos resultados generales:

- La erosión hídrica afecta a todos los usos de la tierra estudiados, pero en forma mucho más reducida a aquellos usos que mantienen durante la época de lluvia una cobertura (viva o muerta) del suelo mayor que 50% (como cacao, café y ganadería). Sin embargo, en pendientes mayores al 45% (aproximadamente) también se presenta erosión moderada a severa en estos mismos usos.
- El cultivo de granos básicos en laderas con pendientes superiores a 20% (aproximadamente) siempre genera erosión severa, sobre todo cuando se rotura el suelo con algún implemento.

5. Bibliografía

- Bienes, R. 1996. Degradación del suelo en tierras marginales y tierras abandonadas. En: Aguilar, J.; Martínez, A; Roca, A. (coord.). Evaluación y manejo de suelos. Junta de Andalucía (SECS), Universidad de Granada, ES. p. 209-225.
- Delgadillo, WA; Rugama, NV. 2012. Desarrollo y validación de metodología práctica para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en los cultivos de frijol de apante y café en el municipio El Cuá, Jinotega, 2011- 2012. Tesis. Matagalpa, NI. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- FAO, 2000. Manual on integrated soil management and conservation practices. Land and Water Bulletin No.8. FAO, Roma, IT.
- Haile, M; Herweg, K; Stillhardt, B. 2006. Sustainable Land Management – A New Approach to Soil and Water Conservation in Ethiopia. Land Resources Management and Environmental Protection Department Mekelle University, ET; Centre for Development and Environment (CDE), Swiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South, University of Bern, CH.
- Houghton, PD; Charman, PEV. 1986. Glossary of Terms Used in Soil Conservation. Soil Conservation Service of New South Wales. AU.
- Illgner, PM. 2008. Land Degradation Assessment – Kalukundi (Democratic Republic of the Congo). ZR. A specialist report for Envirolution Consulting (Pty) Ltd.
- ISSS. 1996. Terminology for soil erosion and conservation. ISSS-ITC-ISRIC. Wageningen, NL.
- Kemper, WD; Rosenau, RC. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Page, AL; Miller, RH; Keeney, DR. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. Agronomy 9. Madison. Wisconsin, US. pp. 425-442.
- Lal, R. 1981. Analysis of different processes governing soil erosion by water in the tropics. In: Erosion and Sediment Transport Measurement, Proceedings of the Florence Symposium. IAHS Publication 113: 351-364.
- Mutekanga, FP; Visser, SM; Stroosnijder, L. 2010. A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngenge watershed in Uganda. Geoderma, 160: 165-174.
- Navarro, S; Navarro, G. 2000. Química Agrícola. Mundi-Prensa. Madrid, ES.
- NSSH. 2008. Glossary of Landform and Geologic Terms. John Galbraith, ICOMANTH Chair, Virginia Tech, US.
- Oldeman, LR; Hakkeling, RTA; Sombroek, WG. 1991. World map of the status of human- induced soil degradation: An explanatory note. Wageningen, NL, International Soil Reference and Information Centre; Nairobi, KE, United Nations Environment Programme.
- Ordoñez Otega, NI; Palacios Montes, M. En preparación. Afectación en suelos por erosión hídrica en fincas ganaderas y cacaoteras, Waslala, RAAN, 2012. Tesis. Universidad de las Regiones Autónomas de la Costa Caribe Nicaragüense (URACCAN), Waslala, NI.
- Porta, J; López-Acevedo, M; Roquero, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ª edición. Mundi-Prensa. Madrid, ES.
- Quiñónez Berganza, GO. 2012. La degradación del suelo por erosión hídrica en cultivos de granos básicos y café en la microcuenca Torjá, cuenca del río Grande de Zacapa, Guatemala. Tesis, CATIE, Turrialba, CR.
- Scherr, SJ. 1999. Soil Degradation: A Threat to Developing-Country Food Security by 2020? Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 27. IFPRI, Washington, US.
- Stocking, M; Murnaghan, N. 2003. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Mundi-Prensa. Disponible en: <http://goo.gl/5Z6VVU>
- Stroosnijder, L. 2005. Measurement of erosion: Is it possible? Catena, 64: 162-173.
- Tefera, B; Sterk, G. 2010. Land Management, erosion problems and soil and water conservation in Fincha'a watershed, western Ethiopia. Land Use Policy, 27: 1027-1037.

6. Anexos

Anexo 1. Hoja de campo para estimar la afectación del suelo por erosión hídrica en parcelas de granos básicos o cacao

Nombre de la finca:..... Propietaria o propietario:.....

Fecha de la evaluación:.....

Nombre de la parcela: Área estimada de la parcela:.....

Número de sectores que se diferencian en la parcela:

Cultivo:.....Fecha de siembra:.....

Manejo aplicado en la etapa de presiembra: Herramientas usadas:

Método de siembra (indicar herramientas usadas):

Cómo se controlaron las malezas después de la germinación del cultivo (indicar herramientas usadas):

Marque con una X o anote las características de los sectores en el siguiente cuadro:

	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Estime o mida el rango de pendiente en cada sector (en porcentaje, o usando palabras como “casi plano”, “pendiente reducida”, “pendiente fuerte”, “pendiente escarpada”).			
¿Cuántos afloramientos rocosos se observan en cada sector?			
Estime el porcentaje de cobertura aérea de las copas de árboles en cada sector.			
¿Cuántos deslizamientos se observan?			
¿Cuál es el área que ocupan?			
¿Cuándo ocurrieron los deslizamientos?			
¿Se observa tierra desnuda o están los deslizamientos cubiertos por vegetación?			
¿Cuántos derrumbes se observan?			
¿Cuál es el área que ocupan?			
¿Cuándo ocurrieron los derrumbes?			
¿Se observa tierra desnuda o están los derrumbes cubiertos por vegetación?			
¿Cuántas cárcavas se observan?			
¿Cuál es el ancho, el largo y la profundidad?			
¿Desde cuándo existen las cárcavas?			
¿Las paredes de las cárcavas están cubiertas por vegetación?			
¿Hay movimiento de material y agua en el fondo de las cárcavas?			

Anexo 2. Hoja de campo para estimar la afectación del suelo por erosión hídrica en parcelas de café o cacao

Nombre de la finca:..... Propietaria o propietario:.....

Fecha de la evaluación:.....

Nombre de la parcela: Área estimada de la parcela:.....

Número de sectores que se diferencian en la parcela:.....

Cultivar:.....Año de siembra:.....

Año de la última resiembra (en cacao) o recepo (en café):.....

Manejo aplicado en el presente año (control de malezas, poda):
.....

Marque con una X o anote las características de los sectores en el siguiente cuadro:

	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Estime o mida el rango de pendiente en cada sector (en porcentaje, o usando palabras como “casi plano”, “pendiente reducida”, “pendiente fuerte”, “pendiente escarpada”).			
¿Cuántos afloramientos rocosos se observan en cada sector?			
Estime el porcentaje de cobertura aérea de las copas de árboles en cada sector.			
¿Cuántos deslizamientos se observan?			
¿Cuál es el área que ocupan?			
¿Cuándo ocurrieron los deslizamientos?			
¿Se observa tierra desnuda o están los deslizamientos cubiertos por vegetación?			
¿Cuántos derrumbes se observan?			
¿Cuál es el área que ocupan?			
¿Cuándo ocurrieron los derrumbes?			
¿Se observa tierra desnuda o están los derrumbes cubiertos por vegetación?			
¿Cuántas cárcavas se observan?			
¿Cuál es el ancho, el largo y la profundidad?			
¿Desde cuándo existen las cárcavas?			
¿Las paredes de las cárcavas están cubiertas por vegetación?			
¿Hay movimiento de material y agua en el fondo de las cárcavas?			

Anexo 3. Hoja de campo para estimar la afectación del suelo por erosión hídrica en potreros

Nombre de la finca:..... Propietaria o propietario:.....

Fecha de la evaluación:.....

Nombre del potrero: Área estimada:.....

Número de sectores que se diferencian en el potrero:.....

Especies forrajeras presentes:.....Año de establecimiento:.....

¿Cómo se maneja el pastoreo? (diferenciar entre época seca y época lluviosa):
.....

Marque con una X o anote las características de los sectores en el siguiente cuadro:

	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Estime o mida el rango de pendiente en cada sector (en porcentaje, o usando palabras como "casi plano", "pendiente reducida", "pendiente fuerte", "pendiente escarpada").			
¿Cuántos afloramientos rocosos se observan en cada sector?			
Estime el porcentaje de cobertura aérea de las copas de árboles en cada sector.			
¿Cuántos deslizamientos se observan?			
¿Cuál es el área que ocupan?			
¿Cuándo ocurrieron los deslizamientos?			
¿Se observa tierra desnuda o están los deslizamientos cubiertos por vegetación?			
¿Cuántos derrumbes se observan?			
¿Cuál es el área que ocupan?			
¿Cuándo ocurrieron los derrumbes?			
¿Se observa tierra desnuda o están los derrumbes cubiertos por vegetación?			
¿Cuántas cárcavas se observan?			
¿Cuál es el ancho, el largo y la profundidad?			
¿Desde cuándo existen las cárcavas?			
¿Las paredes de las cárcavas están cubiertas por vegetación?			
¿Hay movimiento de material y agua en el fondo de las cárcavas?			

Anexo 4. Ejemplo de una hoja de campo para realizar observaciones en los transectos

Parcela o potrero: Sector Longitud del transecto en metros

Punto de observación	Superficie no afectada por erosión						Superficie afectada por erosión por salpicadura y laminar										Cantidad de surcos entre dos puntos (o a 1 metro de distancia desde el transecto)	
	vegetación viva o muerta	Suelo estable, cubierto por vegetación viva o muerta	Suelo no estable, cubierto por vegetación viva o muerta	Suelo desnudo sin erosión, pero vulnerable por estar en pendiente	Suelo desnudo sin erosión, no vulnerable por estar en partes planos	Excremento del ganado	Piedras o rocas	Cráteres de erosión	Estructura laminar superficial (costra)	superficie pulida	Cambios de color en la superficie del suelo	Pedestales de erosión	Piedras o rocas en proceso de ser expuestas	Pavimento de erosión	Raíces lavadas	Huella de pisada o resbalón		Superficie donde se ha depositado material
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
.....																		
.....																		
.....																		
57																		
58																		
59																		
60																		
Suma Total																	SURCOS
% superficie afectada																		
	% de la superficie total no afectada por erosión hídrica						% de la superficie total afectada por erosión hídrica											

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Estado de Acre en Brasil.



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo



ISBN: 978-9977-57-642-8

