

Conservación de suelos y aguas

Luis Fernando Salazar Gutiérrez; Édgar Hincapié Gómez

El Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé en la búsqueda de opciones que contribuyan a la sostenibilidad de la zona cafetera, ha investigado de manera continua desde 1945, los diferentes **procesos degradativos de los suelos** como son la **erosión hídrica y los movimientos en masa**, con el fin de generar tecnologías apropiadas que conduzcan a su **prevención y control**. La erosión del suelo se considera la mayor amenaza para su degradación y la del agua, y a su vez afecta negativamente la calidad y productividad del suelo, especialmente en zonas tropicales húmedas, susceptibles a procesos de degradación, como las regiones cafeteras de Colombia.

Por lo tanto, son objeto de estudio en este capítulo estos procesos degradativos de los suelos y los resultados de investigación acerca de los tratamientos de prevención y mitigación de la erosión y los movimientos en masa mediante prácticas de conservación de suelos y aguas, así como **tratamientos de restauración ecológica**, los cuales son ambiental, social y económicamente viables, para las condiciones de las regiones cafeteras.

Para que la conservación y buen manejo de los recursos naturales sean realmente efectivos, se requiere además de decisiones políticas e institucionales, de la gestión comunitaria y la educación para formar personas conscientes del valor que tienen los recursos suelo, agua y biodiversidad, para el presente y futuro, y del buen uso que se debe hacer de ellos, ya que la erosión es un problema natural y social.

Cómo Citar:

Salazar-Gutiérrez, L., & Hincapié Gómez, É. (2013). Conservación de suelos y aguas. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 285–320). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_13



Procesos de degradación de los suelos

Los movimientos en masa, avenidas torrenciales (Avalanchas) y la formación de cárcavas por la erosión avanzada de los suelos, son eventos recurrentes en la región cafetera de Colombia (Rivera y Sinisterra, 2002; Gómez y Alarcón, 1975) (Figura 1). En especial, las zonas de ladera colombiana están expuestas a amenazas naturales como los sismos, eventos volcánicos, procesos erosivos y movimientos en masa, entre otros. Estos fenómenos causan pérdidas económicas importantes por los daños a la infraestructura y áreas productivas, y amenazan el bienestar y la vida de las personas que habitan esta región y dependen del café como medio de sustento (Serna, 2009).

Es así, como en el período de 1970 a 1999, Colombia sufrió en promedio tres desastres naturales por año, al ocupar el tercer lugar en América Latina con más de 29 mil víctimas fatales, que causaron pérdidas del orden del 11,5% del PIB (Producto Interno Bruto) en 1995 (Sánchez *et al.*, 2006). En Colombia, entre 1999 y 2003, de alguna manera resultaron afectadas más de 533 mil personas por año debido a desastres naturales. De éstos, el 5% correspondieron a personas afectadas por avenidas torrenciales (Avalanchas) o deslizamientos. Solamente en el año 2003, más de 6 mil personas resultaron afectadas por deslizamientos (Sánchez, Ahmed y Awe, 2006).



Figura 1.

Amenazas por erosión y movimientos en masa.

El impacto generado por las temporadas de lluvia y el evento del Fenómeno de La Niña 2010 - 2011 fue de más de 3 millones de personas afectadas y 490 muertes (Sánchez, 2011). La atención de la emergencia, el proceso de reconstrucción y rehabilitación, y actividades de prevención y mitigación de la tragedia invernal costaron más de 28 billones de pesos (PNUD, 2011). Lo anterior, fue causado principalmente por la destrucción de bosques, con las consecuencias de erosión de suelos y sedimentación de cauces de ríos, lagunas y ciénagas, entre otros fenómenos. La erosión hídrica superficial es más silenciosa, pero es de gran importancia, dado que afecta la sostenibilidad y productividad de los cultivos (Gómez y Alarcón, 1975). Todo lo anterior permite llamar la atención sobre el uso, manejo y conservación de los suelos y el manejo de recursos naturales en las zonas de ladera de Colombia.

La erosión del suelo

La erosión natural es el **desgaste de la superficie del suelo** sin intervención del hombre y, por lo tanto, fuera de su control; es un proceso lento e imperceptible, que tiende a buscar una estabilidad de la superficie y un equilibrio entre el suelo, la vegetación, los animales y el agua. Por el contrario, la erosión antrópica es la erosión rápida del suelo, propiciada por el hombre al romper el equilibrio entre los suelos, la vegetación y el agua o el viento (Gómez y Alarcón, 1975).

Tipos de erosión

Dada la amplitud, complejidad y heterogeneidad ambiental de la zona cafetera colombiana, y debido a la escasa información del área afectada por la erosión, así como los registros e inventarios de los movimientos en masa y su clasificación, es difícil obtener una caracterización de los mismos en la región. Sin embargo, en términos generales, se pudiera afirmar que en la zona se presentan tipos de erosión como la **erosión laminar, concentrada en surcos**, la cual origina cárcavas, y tipos de movimientos en masa como **deslizamientos rotacionales, traslacionales y mixtos, flujos, derrumbes o caídas y avenidas torrenciales** (Suárez, 1998).

La degradación del suelo y el agua en zonas de ladera de Colombia, principalmente está relacionada con la erosión hídrica, la formación de cárcavas, los movimientos en masa o derrumbes y la contaminación. A continuación se presenta en detalle en qué consisten los tipos de erosión mencionados:

Erosión hídrica. Consiste en la pérdida paulatina de la capa superficial del suelo, debido a la acción de la lluvia (Figura 2).

La intensidad de esta clase de erosión depende de la combinación de factores como:

- La resistencia propia del suelo a dejarse erosionar (Erodabilidad o erosionabilidad)
- La capacidad erosiva de las lluvias (Erosividad)
- La longitud y el grado de inclinación de los terrenos
- La cobertura y las medidas de conservación o protección que tenga el suelo



Figura 2.

Suelos cafeteros afectados por erosión hídrica.

Este tipo de degradación reduce la calidad de los suelos (Vista como la pérdida de materia orgánica, nutrientes, condiciones físicas y biológicas) y afecta directamente la productividad de los cultivos.

Así mismo, existen varios tipos de erosión hídrica entre los cuales se encuentran:

Erosión laminar. Es la pérdida más o menos uniforme de la capa superficial del suelo, debido a la dispersión o arranque de los agregados de éste, por efecto del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo y el posterior efecto de las aguas de esorrentía (Figura 3).

Erosión en surcos. Es la formación de pequeñas zanjas o canales debido a la concentración de aguas de esorrentía.



Figura 3.

Suelo cultivado con café afectado por erosión laminar.

Este tipo de erosión es común en suelos muy pendientes, removidos por labranza o desnudos, y con un horizonte superficial muy susceptible a la erosión, que se puede distinguir por su bajo contenido de materia orgánica y presencia de cascajo (Figura 4).

Erosión en cárcavas. Una cárcava es una zanja formada por la unión de pequeños surcos o canales, los cuales crecen y forman surcos mayores; éstos a su vez se profundizan y amplían hacia los lados hasta alcanzar secciones transversales de diferentes formas (Cárcavas remontantes) que se agrandan con la presencia de aguas de esorrentía (Rivera, 1998) (Figura 5).

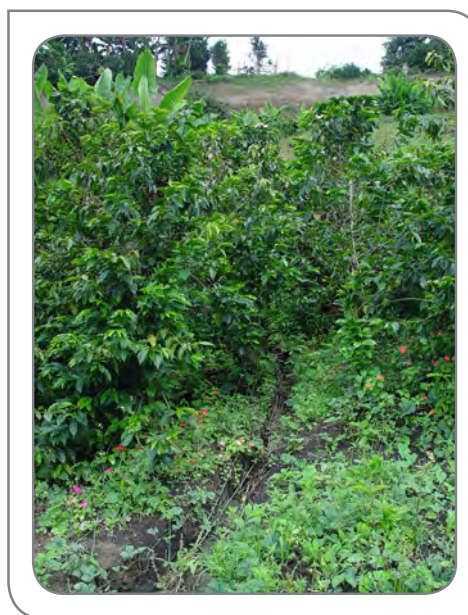


Figura 4.

Ejemplo de erosión en surcos en un cultivo de café.

Las cárcavas pueden afectar pequeñas áreas de suelo (< 0,2 ha) o grandes extensiones (> 2 ha); cuando este tipo de erosión crece tanto en profundidad como hacia los taludes laterales o cuando presenta erosión remontante, su control es más lento y costoso. Este tipo de erosión se torna más compleja al sumarle procesos de movimientos en masa en su estado avanzado de evolución.

Movimientos en masa

Corresponden al desplazamiento o rotación de porciones de suelo, roca o de ambos materiales, a lo largo y ancho de una pendiente (Cruden, 1991). Los más comunes son los deslizamientos, la caída de rocas, flujos (Roca, detritos, suelo, lodo), la reptación, entre otros (Suárez, 1998). Los deslizamientos son uno de los tipos de movimientos en masa más recurrentes en las regiones cafeteras colombianas (Figura 6), éstos se diferencian principalmente por la forma de su plano de falla.

A continuación se presenta la información de los diferentes tipos de movimientos en masa.

Deslizamiento planar. Es el movimiento de la masa a lo largo de una superficie de falla recta. Suelen ser deslizamientos superficiales, más largos que profundos. Se deben principalmente a la saturación de los primeros centímetros u horizontes de suelo, que ocurre después de precipitaciones de alta intensidad, frecuentemente por encima de los niveles históricos de lluvias (Figura 7).



Figura 5.

Ladera afectada por erosión en cárcavas en estado avanzado de evolución.

Deslizamiento rotacional. Movimiento de la masa a lo largo de una superficie de falla curva. Son movimientos más profundos que los planares, donde se afecta la masa de suelo hasta profundidades de decenas de metros. Se conocen como deslizamientos tipo “cuchara”, nombre que se asocia a la forma circular del plano de deslizamiento. Se deben principalmente a la circulación de aguas subsuperficiales o profundas como resultado de la alta cantidad de lluvia acumulada a través del tiempo (Figura 8).

Reptación. Movimiento subsuperficial, muy lento, sin una superficie de falla definida. Son movimientos que pueden cubrir una gran extensión, están condicionados por factores geológicos e hidrológicos, y acelerados por el hombre, cuando afecta el balance hidrológico o interviene las laderas (Figura 9).

Flujos. El material toma el comportamiento de un fluido y se desliza ladera abajo por saturación (Figura 10), el flujo puede ser desde lento hasta muy rápido. Cuando se acumulan varios flujos y movimientos en masa en una microcuenca o una ladera se producen flujos muy rápidos denominados **avenidas torrenciales** o “avalanchas” (Figura 11).

La **erosión superficial y el movimiento en masa**, siendo ambos procesos de desgaste de la superficie terrestre, se diferencian principalmente en los agentes de transporte y los volúmenes de suelo transportados (Gray y Sotir, 1996). Mientras que en la erosión superficial, el suelo es lavado superficialmente y los sedimentos son transportados por el agua y el viento, en los movimientos en masa el agente principal es la gravedad, e involucra el movimiento de volúmenes mayores de sedimentos (Gray y Sotir, 1996).



Figura 6.

Cultivo de café afectado por movimientos en masa.



Figura 7.

Ladera afectada por un deslizamiento planar.



Figura 8.

Cultivo de café afectado por un deslizamiento rotacional.



Figura 9.

Terreno afectado por un movimiento en masa tipo reptación.



Figura 10.

Laderas afectadas por movimientos en masa tipo flujos.



Figura 11.

Evidencia de avenidas torrenciales, en un drenaje natural.

Causas de degradación del suelo y el agua

Entre las causas que originan la erosión se encuentran los **factores antrópicos**, es decir, aquellos acelerados por el ser humano, y los factores naturales.

En muchos casos el problema de la erosión tiende a ser ignorado por los agricultores, ya que sus efectos sobre el suelo y la producción de los cultivos pueden ser ocultados por prácticas como el uso de variedades mejoradas altamente productivas, adición de fertilizantes, empleo de pesticidas, entre otras; pero a su vez cuando estas prácticas se hacen sin las condiciones técnicas originan problemas adicionales como incremento de la erosión, contaminación de suelos y aguas y contribución a la degradación de hábitats naturales.

Amenazas de degradación del recurso agua

En las regiones cafeteras de Colombia, donde predominan los suelos de ladera, los patrones de asentamiento humanos y los procesos de cambios en el uso del suelo y en las coberturas afectan la calidad del agua y de los suelos, en consecuencia, el comportamiento del ciclo hidrológico en las cuencas; en este sentido, los suelos juegan un papel hidrológico determinante en la distribución del agua, como componente que permite la recarga de acuíferos, condicionando la disponibilidad de agua para el hombre

y la vegetación, y de forma indirecta el caudal de los ríos (Hincapié, 2011).

En la cuenca o subcuenca cafetera, actualmente se presenta la alta degradación de las laderas, debido a problemas de erosión hídrica, lo que ha ocasionado frecuentes desastres por deslizamientos de grandes masas de suelo y roca, pérdida de áreas productivas en fincas y carreteras, daños en acueductos y obras civiles, inundaciones y sedimentación de embalses, entre otros.

El agua que fluye por la superficie del suelo hasta los drenajes naturales o masas de agua en la superficie se conoce como **escurrimiento superficial**; el agua que fluye por los drenajes naturales (Quebradas, cañadas) y los ríos hasta aquellos de mayor tamaño, y luego hacia los océanos, se conoce como **escurrimiento fluvial**, y el agua contenida en el sistema poroso del suelo como **agua del suelo**.

Las amenazas más comunes que enfrenta el recurso agua están relacionadas con los cambios en los patrones estacionales de los escurrimientos superficiales y fluviales por efectos de la falta de regulación, esto debido a la deforestación y a la pérdida o reducción de la retención de agua en el suelo. Los cambios pueden originar inundaciones en temporadas lluviosas y disminución de los niveles de agua en ríos y quebradas, durante las temporadas secas. La contaminación de fuentes hídricas está dada por:

Consideraciones prácticas

La degradación de los recursos suelo y el agua es en gran medida el resultado del uso inadecuado de los suelos y de las malas prácticas de manejo que algunos agricultores aplican en los sistemas de producción, entre las que se encuentran:

- X Quemaz:** Aceleran la erosión hídrica y afectan negativamente la vida del suelo
- X Eliminación total de las coberturas arbóreas:** Incrementa la erosión hídrica y la susceptibilidad a movimientos en masa
- X Laboreo excesivo del suelo:** Destruye la estructura del suelo y lo hace más susceptible a la erosión hídrica
- X Cultivos limpios por el uso generalizado de herbicidas:** Acelera la erosión y degradación física y biológica del suelo
- X Sobrepastoreo:** Compacta el suelo, reduce la infiltración y favorece la erosión avanzada de los suelos
- X Manejo inadecuado de las aguas:** Causan erosión avanzada, movimientos en masa y deterioro de las fuentes hídricas
- X Desprotección de los cauces de las corrientes de agua y vías:** Reduce la disponibilidad de agua y aumenta el riesgo de erosión y movimientos en masa

- La descarga directa a las quebradas, fuentes de agua o los drenajes naturales, de las aguas servidas, residuales o aguas con desechos orgánicos provenientes de actividades pecuarias como líquidos cloacales, residuos fecales de cerdos y vacunos, entre otros.
- La contaminación de aguas superficiales y corrientes de agua con residuos de agroquímicos, fertilizantes de origen químico y orgánico, aceites, grasas o derivados del petróleo.
- El depósito de la pulpa del café y de las aguas provenientes del proceso de beneficio, directamente a las quebradas sin ningún tratamiento.
- Los sedimentos de suelo erosionado que son arrastrados por las aguas de escorrentía hasta las fuentes de agua.
- Reducción progresiva de la resistencia del suelo y las rocas, o meteorización
- Dinámica de aguas subterráneas, o afloramiento natural de aguas en taludes
- Movimientos telúricos y las fallas geológicas
- Susceptibilidad del suelo (Propiedades físicas, mecánicas y químicas)
- Características del perfil del suelo (Cambios fuertes en la permeabilidad del suelo a través del perfil)
- Las características de la pendiente (Grado y longitud), lo que favorece la acción de la gravedad
- El clima, como es el caso de la precipitación (Intensidad, cantidad, frecuencia)
- Fluctuación del nivel freático (Agua subterránea o subsuperficial)

Si bien los procesos de degradación que amenazan los recursos suelos y agua pueden ocurrir bajo condiciones naturales, en gran medida son acelerados por el hombre, cuando hace un manejo inadecuado del suelo, agua y vegetación, lo cual puede obedecer a diferentes causas de orden tecnológico, económico, socio-cultural, ético, legal y político.

Causas de los movimientos en masa

A pesar del amplio número de casos de inestabilidad natural de las laderas, la aparición de estos problemas se intensifica por la acción del ser humano. Los movimientos en masa y problemas de erosión avanzada en zonas de ladera tropical andina, se presentan debido a la interacción de diversos factores, los cuales se pueden clasificar como naturales y antrópicos.

Los factores naturales son:

- Debilidad del material de origen del suelo, o rocas inestables

Los factores antrópicos son aquellos acelerados por el ser humano, éstos son:

- La deforestación y desprotección de los drenajes naturales permanentes como las cañadas, o esporádicos, que sólo aparecen en épocas de lluvias
- Conflicto en el uso del suelo, es decir, cultivos o explotaciones no acordes con su uso potencial
- Prácticas agrícolas inadecuadas como los cultivos totalmente descubiertos (Suelo libre de arvenses u hojarasca)
- Intervención de las laderas (Cortes o excavaciones) para la construcción de viviendas, carreteras o caminos
- Manejo inadecuado de las aguas de escorrentía
- Manejo inadecuado de residuos sólidos que limitan la circulación adecuada del agua
- Intervención de drenajes naturales

Consideraciones prácticas

Las condiciones topográficas, geológicas, climáticas y de suelo de la zona cafetera colombiana hacen que los procesos de degradación se presenten en casi todos los períodos lluviosos, por lo tanto, se debe fomentar la implementación de programas institucionales de manera permanente, que permitan la adopción de prácticas y medidas de prevención, teniendo en cuenta que una vez ocurridos los problemas de degradación, el control de los procesos y la recuperación de las áreas afectadas, son lentos y a un costo relativamente alto.

Para contribuir al entendimiento y mitigación de los deslizamientos o movimientos en masa, Cenicafé ha buscado conocer las **causas antrópicas de los movimientos en masa en las empresas cafeteras**, así como determinar el aporte de la vegetación en la estabilidad de laderas y aplicar tratamientos biotécnicos para el control y la mitigación de los movimientos en masa.

Mediante la metodología de la matriz de causalidad simple, de causa - efecto, se tuvieron en cuenta los diagnósticos realizados por Cenicafé entre 1996 a 2004, en 31 sitios distribuidos en 15 municipios cafeteros de Colombia, en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, principalmente en suelos cultivados con café (Salazar e Hincapié, 2006).

En todos los casos estudiados existieron varias causas al mismo tiempo, las cuales no fueron excluyentes para cada sitio. Al realizar una agrupación general de las causas encontradas, con mayor frecuencia se presentó la desprotección de los drenajes naturales (58%), fallas en obras de infraestructura (52%), manejo inapropiado del suelo (45%), conflicto en el uso del suelo (39%) y otras causas (6%) (Salazar e Hincapié, 2006), como se ilustra en la Figura 12.

Desprotección de drenajes naturales. Se refiere a la expansión de la frontera agrícola hasta los nacimientos y corrientes de agua, lo cual promueve los movimientos en masa y los casos de cárcavas remontantes, debido a que en períodos de lluvias intensas se presentan crecientes de estas corrientes, para las cuales el cultivo no cumple la función de disipación de su energía, causándose socavamiento

del fondo de los cauces y la desestabilización de las bases de las laderas. Otra forma de intervención de los drenajes naturales es la extracción de materiales como arena, grava o rocas sin las adecuadas especificaciones técnicas.

Falencias o ausencia de obras de infraestructura. La falla o ausencia de obras de infraestructura generalmente provoca saturación del terreno o concentración de volúmenes altos de agua por un solo sitio. Cuando el agua causa saturación, se convierte en una carga, presión o esfuerzo adicional aplicado a la masa de suelo, ocasionando su movimiento, en tanto que el flujo de agua concentrado por un solo sitio, sin disipación de su energía o velocidad, causa socavamientos y arrastre de sedimentos que conllevan a la formación de cárcavas.

- *Desequilibrios causados por las vías o carreteras.* Actualmente la construcción de vías afecta las vertientes, al abrir taludes, modificar la geodinámica externa y al crear fuentes de desequilibrio, sin tener en cuenta los estudios morfodinámicos para el diseño de las vías.

- *Construcciones inadecuadas, donde se ignora la necesidad de estudios previos.* La construcción de carreteras y caminos en zonas de ladera obedece más a la ampliación de los caminos antiguos que a un trazado con base en mínimos estudios topográficos. El trazado y construcción de caminos veredales y dentro de las fincas en las zonas de ladera, debe ser bien estudiado y planificado, ya que con estas construcciones se altera el comportamiento hidrológico tanto de las laderas como de las quebradas y drenajes naturales, ya que un camino o carretera se convierte en zona de captación, que no permite



Figura 12.

Frecuencia (%) de las causas de movimientos en masa y erosión avanzada.

infiltración de agua, y por el contrario, las concentra en los bordes de las vías, lo cual puede conducir a la formación de surcos, cárcavas y deslizamientos, ya sea en la misma carretera o aguas abajo. La construcción de carreteras o caminos en las laderas también desestabiliza los taludes por la remoción del soporte en la base y el incremento de la pendiente.

Manejo inapropiado del suelo. En este caso, el análisis se asocia al manejo inapropiado del suelo, principalmente a la desyerba en forma generalizada con herbicidas o azadón, además la desprotección del suelo y taludes, al eliminar totalmente las coberturas e incrementar los niveles de erosión superficial y de escorrentía, lo cual causa su desestabilización.

Uso inadecuado del suelo. Estos problemas se asocian al conflicto entre el uso actual del suelo y su uso potencial, y en especial se refiere a la deforestación; así como a la presencia de cultivos en sitios donde su uso potencial debería ser bajo sistemas agroforestales o bosque de protección, los cuales brindan mayor protección a los suelos contra los deslizamientos. El tipo de sistema de cultivo y su localización son factores que influyen en la estabilidad de las laderas; los cultivos ofrecen poco incremento de la cohesión del suelo en lo profundo del perfil, como es el caso del café a libre exposición solar.

Otras causas antrópicas. Se encuentra en forma recurrente el depósito de residuos sólidos en las laderas lo cual ocasiona la saturación del terreno y no permite el adecuado establecimiento de la vegetación. Los residuos sólidos también son un agente de obstrucción de las obras de conducción de agua. Entre otras causas se registra la elaboración de rellenos o terrazas sin las debidas especificaciones técnicas en zonas de ladera.

La variación climática y los movimientos en masa

En Colombia, en especial durante los eventos del fenómeno de La Niña se tienen importantes incrementos en la incidencia de movimientos en masa. Durante la fase fría del océano Pacífico, denominada La Niña, existe una alta probabilidad del aumento en los volúmenes de precipitación por encima de los niveles históricos normales en la zona Andina y Caribe de Colombia (Jaramillo y Arcila, 2009; IDEAM, 2010).

Los movimientos en masa y avalanchas ocurridos en Colombia, durante el Fenómeno La Niña, entre los años 1998 a 2000, se relacionaron principalmente con las lluvias intensas y persistentes, que causaron

la saturación de los suelos localizados en las áreas de ladera potencialmente inestables. Según Sánchez et al. (2001), el 89% de los movimientos en masa fue del tipo deslizamiento y caídas de materiales, 10% por avenidas torrenciales y el 1% por hundimientos. Sánchez et al. (2001) registraron una diferencia notable en el número total de deslizamientos reportados durante un evento cálido del Pacífico, denominado Fenómeno de El Niño, respecto a los reportados en un evento frío, La Niña; es así como en el evento de La Niña de 1998 – 2000, el total de deslizamientos registrados en la región andina Colombiana superó los 615, en tanto que en el evento El Niño de 1997-1998, se registraron 51 de deslizamientos.

En el período de La Niña, en los meses que normalmente son de menor precipitación (Enero, febrero, julio y agosto), aumenta la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa. Mientras que en los meses históricamente más lluviosos (Abril - mayo y octubre - noviembre), sumado a la presencia de La Niña, se aumenta el riesgo de crecientes súbitas de los cauces hídricos, así como avalanchas, deslizamientos y mayor pérdida de los suelos por erosión (IDEAM, 2010). Es así como en el fenómeno de La Niña de 1998 – 2000, los meses de noviembre y diciembre fueron los de mayor número de deslizamientos registrados, debido al efecto de las lluvias acumuladas y lluvias intensas, mientras que septiembre fue el mes con menor ocurrencia de movimientos en masa.

El estado inicial de un talud, después de un período de sequía prolongada y con grietas, producto del secado y humedecimiento, permite que las primeras lluvias favorezcan la saturación de la base del talud y de los horizontes más superficiales y no contribuye a la saturación inmediata del subsuelo. Lo cual tendría implicaciones directas en los mecanismos de falla. El agrietamiento del suelo debido a los procesos de secado y humedecimiento puede tener impacto en la estabilidad del mismo, dado que se ha demostrado la pérdida más rápida de la resistencia al deslizamiento al inicio de las lluvias, después de un período de sequía y al estar el suelo afectado por grietas de expansión (Salazar, 2011).

Prevención de la erosión del suelo

Conservar el suelo y el agua trasciende más allá de los trabajos para el control de la erosión. **La conservación de suelos y aguas** consiste en la aplicación de un conjunto de **técnicas y prácticas** que contribuyen a evitar la degradación de estos dos recursos naturales y mantener o mejorar la productividad agrícola; por lo tanto, deben estar inmersas en:

- Los **sistemas de producción de las explotaciones agrícolas o pecuarias**. Consiste en adoptar ciertas condiciones para que el suelo no sea afectado negativamente ante las amenazas de degradación.
- Los **programas institucionales, basados en los principios de protección y mejoramiento**. Es el proceso que se lleva a cabo para modificar ciertas características del suelo, con el propósito de aumentar su rendimiento o productividad y buscar la resistencia del efecto de agentes bióticos y abióticos adversos.

Premisas que justifican la adopción de prácticas de conservación de suelos y aguas

Con la adopción de las prácticas de conservación de suelos y aguas se previene, reduce o elimina la erosión hídrica y se mantiene o aumenta la fertilidad del suelo y, con ello, la producción de los cultivos. Así mismo, algunas prácticas de conservación de suelos y un adecuado manejo de aguas, ayudan a prevenir los deslizamientos o movimientos en masa.

El primer paso para establecer estrategias de conservación de suelos y aguas, con el fin de buscar la sostenibilidad de la caficultura está en la **sensibilización, motivación y educación de la comunidad** como actor esencial en la conservación, recuperación, protección y preservación de los recursos naturales.

Una buena forma de sensibilización consiste en observar situaciones reales que demuestran cómo influye la erosión en la producción de café. En la Figura 13 se observa que la producción de café, en parcelas con erosión severa, se redujo en promedio el 60%, al compararla con la obtenida en parcelas con erosión leve, y 54% comparada con la producción registrada en parcelas con erosión moderada; el cultivo contó con fertilización según el análisis de suelos y manejo integrado de arvenses (Hincapié y Salazar, 2012).

En este sentido, **la erosión genera sobrecostos** al incrementarse la necesidad de aplicar más fertilizante debido a la pérdida de nutrientes. Es así, como en un suelo con mayor contenido de materia orgánica (12% al 16%) se requiere aplicar $40 \text{ kg.ha.año}^{-1}$ menos de nitrógeno que un suelo con un contenido de materia orgánica menor (Menor o igual al 8%) (Sadeghian, 2008) lo anterior sin tener en cuenta el resto de nutrientes que se pierden por acción de la erosión hídrica.

Sin embargo, ante lo anterior, es grato observar cómo en las zonas cafeteras una gran proporción de cafeteros

implementan las prácticas de conservación de suelos y aguas (Serna, 2009), dado que las áreas degradadas tienen un mayor impacto visual que aquellas que se encuentran protegidas, bien manejadas o sin problemas de erosión.

Aquellos cafeteros que actualmente adoptan prácticas de conservación de suelos y aguas en sus sistemas productivos de café se deben exaltar, promover, motivar y vincular como protagonistas centrales en la difusión de las mismas, y lograr que por medio de éstas puedan obtener un valor agregado por su producto como **fincas piloto en la conservación de suelos y aguas**.

El objetivo de las prácticas de conservación de suelos y aguas es el de disminuir o anular los factores causales de la erosión y movimientos en masa (FNC, 1979). Las prácticas de conservación de suelos y aguas en los sistemas productivos de café se deben enfocar, principalmente, en la prevención de los procesos de erosión y movimientos en masa más que su remediación o control. Así mismo, deben estar implícitas en las prácticas agronómicas, culturales o cotidianas de los sistemas productivos y se debe demostrar su rentabilidad en el tiempo.

En cuanto a **las prácticas preventivas**, al requerir materiales propios de la región y ser actividades

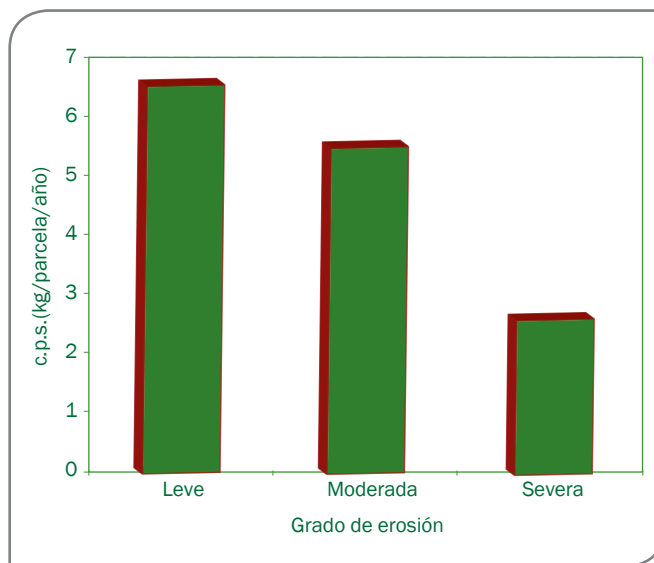


Figura 13.

Producción de café pergamino seco (c.p.s.) en parcelas agrupadas en fases de erosión, en suelos de la unidad Venecia. Leve: sitios del lote con $50\% \pm 10\%$ del valor máximo observado del primer horizonte. Moderada: sitios del lote con $25\% \pm 10\%$ del valor máximo observado del primer horizonte. Severa: sitios del lote con pérdida total del primer horizonte, e incluso parte del segundo horizonte.

implícitas dentro de los cultivos, **no requieren de la mayor gestión de recursos** por parte de la comunidad y las organizaciones, debido a que pueden ser gestionados ante diferentes entidades y deben ser invertidos principalmente en procesos de socialización, educación, establecimiento de viveros y acciones comunes, donde todos los miembros y actores de la comunidad participen activamente. Las prácticas de control o remediación de la erosión requieren siempre de mayor gestión e inversión de recursos y fortalecimiento de la participación comunitaria e interinstitucional.

En todos los climas, suelos, topografías y sistemas productivos se requieren prácticas de conservación de suelos y aguas (FNC, 1979). Aun en el ambiente cafetero con más bondades de suelo, clima y topografía, se requiere por lo menos del uso de coberturas vivas para evitar su degradación y erosión por el efecto del impacto de las gotas de lluvia, incluso los drenajes naturales más cortos requieren de protección y conexión de sus cauces, como práctica central de un plan de conservación de suelos y aguas, y del manejo preventivo de aguas servidas, de escorrentía y subsuperficiales. Aquellas zonas con más limitaciones ambientales de suelo, material parental, clima y topografía requieren un conjunto de prácticas integradas más complejas, que van desde la implementación de bosques de protección o productivos, sistemas agroforestales, protección de drenajes naturales, manejo de coberturas, barreras vivas, árboles de conservación de suelos y aguas, y manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, entre otras más específicas y con restricciones.

La situación ideal para la conservación de suelos y aguas siempre debe contemplar el bienestar de la comunidad, para lo cual se requiere considerar la sostenibilidad desde sus dimensiones económica, ambiental y social.

Prácticas para la conservación de suelos y aguas y estrategias para su implementación en la empresa cafetera

Cenicafé ha estudiado métodos sencillos para prevenir la erosión hídrica y lograr la conservación de los suelos y su fertilidad, especialmente para proteger las zonas de ladera. De manera general, se han registrado diferentes prácticas como prioritarias para apoyar un **programa integral de conservación de suelos y aguas**, el cual se debe aplicar no solo cuando se cultiva café, sino también para cualquier otra especie vegetal, en suelos pendientes y en regiones con condiciones de alta e intensa precipitación. Bajo las anteriores premisas se consideran **15 prácticas básicas para la conservación de suelos y aguas**, en las cuales se plasman algunas estrategias para favorecer su aplicación.

1. Localización apropiada de los cultivos o uso del suelo de acuerdo con su vocación

Es la práctica más importante de conservación de suelos y aguas (Figura 14).

Es posible planear y diseñar con los cafeteros la disposición de los cultivos, para asegurar la productividad, sostenibilidad y seguridad alimentaria, al tener en cuenta algunos criterios (Gómez *et al.*, 1975; Gómez y Rivera, 1993):

- Los cultivos transitorios como maíz, fríjol, tomate, entre otros, deben establecerse en pendientes de inclinación menor al 30%, con prácticas adicionales de conservación de suelos y aguas, como las coberturas y las barreras vivas.

Consideraciones prácticas

*Es necesario que los caficultores y extensionistas exploren las diversas **alternativas para la prevención y el control de la erosión**, y elijan integralmente las más convenientes en función de sus intereses, cultura, tipo de cultivo y planificación, entre otros.*

Las acciones de conservación de suelos deben considerar un trabajo conjunto e integrado de todos los habitantes y productores de la microcuena o vereda. Para lograr que el cafetero adopte e implemente en forma adecuada y permanente sistemas apropiados de producción, acordes con las disponibilidades técnicas y económicas, se requiere de un trabajo conjunto entre instituciones, organizaciones, investigadores, extensionistas y comunidad, que permita mejorar o adaptar prácticas a nivel tecnológico y organizativo, para aportar a la producción agrícola sostenible.



Figura 14.

Unidad productiva con disposición adecuada de los cultivos.

- Establecimiento de cultivos de café al sol o con cultivos transitorios intercalados o plátano, árboles frutales o caña, cuando coexistan pendientes hasta del 60%, suelos en rango de textura franca, sin restricciones de profundidad, sin déficit hídrico prolongado (Más de 20 días) y buen drenaje interno. Sin embargo, deben desarrollarse prácticas de conservación de suelos y aguas.
- Sistemas agroforestales multiestratos (Especies arbóreas y arbustivas de diferentes tamaños y estructuras aéreas y radicales) con especies nativas o productivas en pendientes entre el 40% al 100%, suelos con limitaciones físicas, baja retención de humedad, pobre almacenamiento de agua y de profundidad efectiva escasa. Sin embargo, deben establecerse prácticas de conservación de suelos y aguas adicionales, como el mantenimiento del mantillo o mulch, como componente prioritario en estos sistemas, para prevenir la erosión.
- Actividad ganadera. Debido a la alta escorrentía generada por la cobertura de pasto (Suárez de Castro, 1962), esta actividad constituye un factor importante en el desequilibrio hídrico de las zonas de ladera. Se propone la ganadería intensiva, mejorada y de rotación, en pendientes menores al 30%; en pendientes del 30% al 60% sistemas silvopastoriles, y en pendientes mayores al 60% el establecimiento de pastos de corte. En especial, se debe evitar la ganadería extensiva en zonas de ladera fuerte, mayor al 60% y con longitudes mayores de 50 m. Aunque el fenómeno de la ganadería extensiva es histórico y cultural, y tiene un impacto negativo en la deforestación y degradación de los suelos y aguas (PNUD, 2011), en zonas de ladera es más sostenible el uso del suelo en agricultura con prácticas de conservación que en ganadería extensiva.

- Bosques de protección o bosques productivos sostenibles en pendientes entre el 60% y más del 100%, en suelos susceptibles a la erosión y movimientos en masa. La tala indiscriminada de bosques causa una fuerte erosión de los suelos, ayuda a la sedimentación de los cauces de los ríos, lagunas y ciénagas, y facilita las inundaciones en zonas planas y deslizamientos en las vertientes que afectan la estructura vial y a la comunidad urbana y rural (PNUD, 2011).
- Sobre otros usos: Los nacimientos de agua, cuencas de ríos, áreas de protección natural y biodiversidad están expuestos a un grave riesgo debido a actividades antrópicas como la deforestación y la explotación minera, lo cual genera un conflicto en el uso del suelo en regiones cafeteras.

Estrategias para favorecer su implementación

Construcción de la cartografía de la empresa cafetera.

Es importante examinar las fotografías aéreas de la región y, de acuerdo con los tipos de degradación y erosión del suelo que diferencie, pueda discernir sobre el uso adecuado que se debe dar a éstos. De igual manera, analizar cuáles actividades agrícolas, pecuarias u otras, influyen en la degradación de los ecosistemas e iniciar planes para contrarrestarlo, por ejemplo, cultivos transitorios y sobrepastoreo, que de no corregirse, de nada sirve iniciar con implementación de otras medidas de prevención o control.

El conocimiento de las características del suelo es una base fundamental para darle uso adecuado y seleccionar las prácticas de conservación de suelos y aguas.

- Realice un mapa de la empresa cafetera. Dibuje la realidad de cada lote, poco a poco, para construir sus características y diseñar los planes de manejo
- Describa y evalúe sus características
- Elabore otro mapa de su empresa cafetera, con el fin de representar algunas características de los suelos (Localización de cada lote de terreno, uso actual del suelo y vegetación, sistema de producción, longitud e inclinación de la pendiente, espesor, textura y color de cada una de las capas u horizonte del suelo), que permitan planear y diseñar la disposición de los cultivos

2. Siembra con el mínimo disturbio del suelo

En el contexto mundial y aun en suelos de planicie, una de las prácticas más eficientes de conservación de suelos es la siembra de los cultivos bajo el sistema de labranza mínima o labranza de conservación.

En zonas tropicales de ladera y de alta precipitación, con suelos jóvenes, como los de la zona cafetera, el laboreo del suelo, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo y el agotamiento de la materia orgánica, generan la destrucción de su estructura y de sus agregados y, por ende, su estabilidad al agua (Rivera *et al.*, 2010).

En la Figura 15 se observa cómo en diferentes suelos de la zona cafetera colombiana, al reducirse el tamaño de los agregados, el suelo se vuelve más susceptible a la erosión.

Estrategias para favorecer su implementación

Siembra bajo el sistema de labranza de conservación.

El laboreo del suelo y la preparación excesiva durante la siembra, generan la destrucción de su estructura y, con ello, se incrementa la susceptibilidad de suelos por erosión. Por ende, es necesario realizar las siguientes prácticas:

- La sensibilización de los agricultores frente a las propiedades del suelo y subsuelo antes de implementar la preparación del sitio para la siembra, con la elaboración del hoyo de 30 x 30 x 30 cm en suelos en un rango de textura franca, y de 40 x 40 x 40 cm en suelos de textura arcillosa o arenosa (Figura 16). Lo anterior al tener en cuenta que algunos suelos arenosos presentan alta resistencia a la penetración de las raíces.
- La incorporación de materia orgánica bien descompuesta al hoyo, a razón de 1 kg/hoyo, puede mejorar las condiciones físicas del sitio como la aireación, penetrabilidad y retención de humedad, entre otras.



Figura 16.

Preparación del sitio para la siembra con mínimo disturbio del suelo. Conservación de las coberturas vegetales.

3. Siembra en contorno o a través de la pendiente

Es una de las prácticas de conservación más adoptada por los cafeteros. Esta práctica es eficiente hasta en un 30% para prevenir las pérdidas de suelo por erosión (Gómez *et al.*, 1975). Este tipo de siembra disminuye la energía del agua de escorrentía en las laderas y va acompañada con otras prácticas de conservación de suelos.

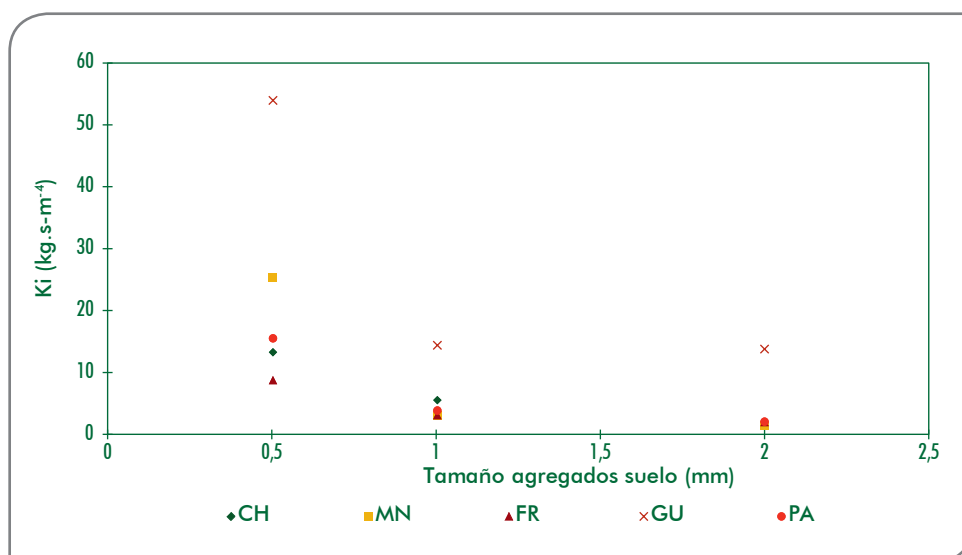


Figura 15.

Erodabilidad de diferentes suelos de la zona cafetera de Colombia, de acuerdo con el tamaño de agregados del suelo. Ki es el factor de erodabilidad (A mayor factor de erodabilidad mayor es la susceptibilidad del suelo a la erosión); CH: Unidad Chinchiná, MN: Unidad Montenegro, FR: Unidad Fresno, GU: Unidad Guamal, PA: Unidad Parnaso o 200 (Rivera *et al.*, 2010).

Estrategias para favorecer su implementación

Lo más práctico para su implementación es el trazo de una curva a nivel o surco en el centro de la ladera y completar el resto con surcos paralelos a lado y lado de esta línea (Figura 17).

Otra estrategia consiste en medir la pendiente del terreno, la cual comúnmente se expresa en porcentaje e indica la relación que existe entre el desnivel en la coordenada vertical (Distancia vertical "y") y la distancia que se debe recorrer en la coordenada horizontal (Distancia horizontal "x") (Figura 17).

Cómo medir la pendiente de un terreno.

1. Tome una cuerda o un trozo de madera de 2 m de longitud.
2. Coloque uno de sus extremos en un punto de la ladera y nivélelo horizontalmente (con la ayuda de un nivel). Posteriormente, coloque una plomada desde el otro extremo de la cuerda o trozo de madera, y mida la distancia desde este punto hasta el suelo.
3. Para calcular la pendiente en porcentaje se emplea la siguiente relación:

$$\text{Pendiente en \%} = \frac{\text{Distancia Vertical (y)}}{\text{Distancia Horizontal (x)}} \times 100$$

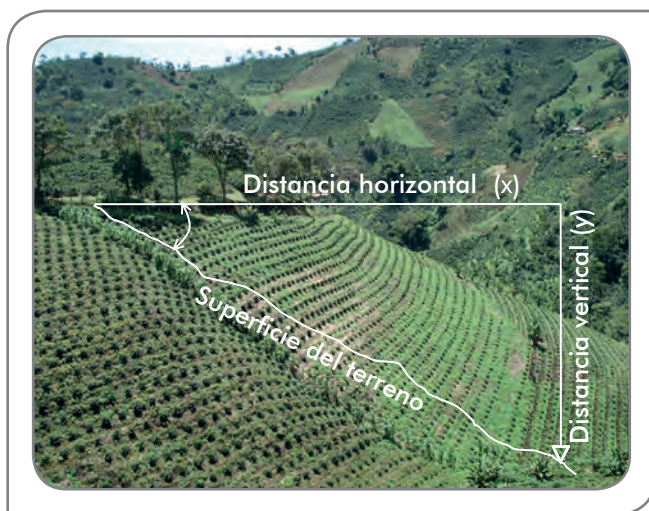


Figura 17.

Siembra a través de la pendiente. Diagrama sobre la pendiente del terreno

Para calcular la pendiente en grados, basta con resolver el triángulo rectángulo con las dos distancias conocidas.

$$\tan \alpha = \frac{\text{Distancia Vertical (y)}}{\text{Distancia Horizontal (x)}} \times 100$$

Por ejemplo: Si se utilizó una cuerda de 2 m de longitud (Distancia horizontal "x"), y que la distancia medida desde el extremo de la cuerda hasta el suelo es de 1,25 m (Distancia vertical "y"), la pendiente del terrenos en porcentaje es:

$$\text{Pendiente} = \frac{1,25 \text{ m}}{2,00 \text{ m}} \times 100 = 62,5\%$$

Para el cálculo de la pendiente en grados se tiene que:

$$\tan \alpha = \frac{1,25 \text{ m}}{2 \text{ m}} \times 100 = 0,625$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0,625$$

$$\alpha = 32,00^\circ$$

Donde una pendiente del 62,5% corresponde a un ángulo de inclinación de 32°, y una pendiente del 100% corresponde a un ángulo de inclinación de 45°.

4. Coberturas muertas – repique en el suelo de la ramilla del café y residuos de cosecha

Las coberturas muertas, la distribución de residuos vegetales o mulch, se reconoce mundialmente como una práctica pionera de la conservación de suelos y aguas (Hudson, 1982), sin embargo, algunos cafeteros quemaron este material o lo retiraron del lote, generando impactos ambientales negativos sobre el aire, el suelo, la biodiversidad y las aguas. En los sistemas de café a libre exposición solar y en los sistemas de café con árboles, el mulch es uno de los componentes fundamentales para la conservación del suelo y el agua dado que éste disminuye el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y disminuye su temperatura y evaporación (Suárez de Castro, 1962). Además, las coberturas muertas toman gran relevancia en zonas con déficit hídrico prolongado y, en especial, en las épocas cálidas del evento del Fenómeno de El Niño, para conservar la humedad del suelo.

En la renovación del cultivo del café por zoca existe la posibilidad de permitir en el suelo su cubrimiento con la ramilla y la hojarasca, producto del desrame de los árboles de café (Figura 18).

Estrategias para favorecer la práctica

Sensibilizar al agricultor con ejercicios de transferencia en miniparcelas de escorrentía y comparar la erosión con el suelo desnudo y el suelo con mulch (Figura 19). Registrar con el caficultor, en un metro cuadrado, el peso del material seco y sensibilizarlo sobre su aporte al suelo. Así, se pueden esparcir por el suelo y el plato del árbol, de manera uniforme, los residuos vegetales provenientes de las desyerbas o cultivos intercalados como el maíz, para contribuir a la conservación de la humedad del suelo, dado que ésta disminuye su evaporación y el impacto de las gotas de lluvia. Motivar al agricultor a realizar esta práctica e integrarlo en los planes de renovación.

5. Barreras vivas o artificiales

La práctica de las barreras vivas consiste en sembrar plantas de diferentes especies en hileras, a través de la pendiente. Preferiblemente se emplean especies perennes o semiperennes, de crecimiento denso o buen macollamiento (Figura 20). Este tipo de barreras ayudan a reducir la velocidad del flujo de agua por escorrentía y, por lo tanto, disminuyen la capacidad erosiva y de lavado de nutrientes; en las zonas donde se localizan las barreras se puede aumentar la infiltración y la humedad del suelo (FNC, 1979; Gómez y Rivera, 1993).

Las barreras vivas pueden establecerse como sistemas de doble propósito, ya que se pueden utilizar especies que sirvan de alimento para animales, plantas medicinales, aromáticas, forrajes y granos, entre otros. También se pueden establecer barreras de arbustos como leguminosas, combinadas con especies herbáceas, que mejoren la calidad del suelo y se adapten fácilmente a la zona.



Figura 19.

Ejercicio de sensibilización con miniparcelas de escorrentía, sobre el efecto de la cobertura muerta en la protección del suelo.



Figura 18.

Coberturas muertas - cobertura del suelo con ramilla proveniente del zoqueo del café.



Figura 20.

Cultivo de café con barreras vivas de pasto vetiver.

Especies recomendadas para la elaboración de barreras vivas

Vetiver: *Vetiver zizanoides* (Figura 21)

Limoncillo: *Cymbopogon citratus*

Citronella: *Cymbopogon winterianus* (Figura 22)

Imperial: *Axonopus coparius*

Leguminosas (arbustos), plantas aromáticas, ornamentales o medicinales.

Las barreras artificiales cumplen la misma función que las barreras vivas, de disminuir la energía de las aguas de escorrentía en la ladera, y con ello la erosión.

Se utilizan en zonas con déficit de humedad prolongado mayor de 2 meses. Se construyen con materiales inertes de la misma finca como leños o rocas, dispuestos a través de la pendiente. La utilización de los leños gruesos resultantes de la zoca del café son apropiados para la aplicación de esta práctica (Figura 23). Además, es una práctica adecuada para épocas cálidas como las del Fenómeno de El Niño.



Figura 21.

Pasto vetiver, especie recomendada para barreras vivas.

Pendiente (%)	Distancia (m)*
5	25
10	20
15	18
20 - 25	15
30 - 35	12
40 - 55	9
60	6

Tabla 1.

Distancia propuesta entre barreras según la pendiente del terreno (FNC, 1979).
*Para el caso de un cultivo de café libre de coberturas

Estrategias para favorecer la práctica

- La sensibilización mediante demostraciones de campo, sobre el efecto de la longitud de la ladera en la erosión, la enseñanza del trazo en curvas a nivel o en contorno, las barreras vivas multipropósito y los viveros comunitarios, pueden ser estrategias para su adopción.
- Pueden sembrarse barreras simples, dobles o en triángulo, a distancias de siembra entre 15 cm a 30 cm entre plantas; la separación de las barreras depende de la pendiente del terreno (Tabla 1), del tipo de cultivo, de las condiciones del suelo, de las condiciones ambientales, así en zonas de mayor riesgo a la erosión, la distancia entre barreras será menor.



Figura 22.

Citronella, especie recomendada para barreras vivas.



Figura 23.

Barreras inertes con fajinas a partir de residuos de la zoca de café.

6. Cultivos en fajas

Consiste en diseñar bloques o fajas homogéneas y densas de cultivos, dispuestos a través de la pendiente, con un ancho entre 10 y 30 m, separados por calles de 2 a 3 m de ancho, protegidos con coberturas densas multipropósito (Figura 24). La eficiencia de esta práctica depende de la cobertura que se mantenga en las calles de protección. En altas pendientes, para evitar que se formen calles muy largas en sentido de la ladera, se aconseja la disposición de los bloques o fajas de forma alternada (Figura 25), o establecer escalones o disipadores de la escorrentía con materiales inertes (Leños, rocas y guadua, entre otros) (FNC, 1979).

En la modalidad de cultivos en fajas, también se encuentra la disposición en surcos dobles, que consiste en sembrar dos surcos en contorno, separados entre sí por calles de mayor distancia, protegidas por coberturas densas que no interfieran con el cultivo (Figura 26). Este arreglo de siembra es muy eficiente en la prevención de la erosión, combinado con el uso de coberturas.

Estrategias para favorecer la práctica

Exaltar los caficultores que aplican esta práctica de cultivos en fajas integrada con el uso de coberturas.

7. Sistemas agroforestales para la conservación del suelo y el agua

Existen regiones cafeteras con alta amenaza de erosión y movimientos en masa, que por sus condiciones de

suelos, rocas, clima y pendiente se hace indispensable la implementación de sistemas agroforestales tecnificados, para la conservación del suelo y el agua. Lo ideal es el establecimiento de árboles o arbustos adaptados a cada región (Rivera y Gómez, 1992), algunos de los más utilizados en zonas cafeteras son:

Guamo (*Inga* spp.)

Nogal (*Cordia alliodora*)

Chachafruto (*Erythrina edulis*)

Caucho (*Hevea brasiliensis*)

Leucaena (*Leucaena leucocephala*)

Matarratón (*Gliricidia sepium*)



Figura 25.

Cultivo en fajas alternado, sin otras prácticas de conservación en fuerte ladera.



Figura 24.

Ejemplo de cultivos de café dispuestos en fajas.



Figura 26.

Cultivos en fajas en disposición de surcos dobles.

Carbonero o pizquín (*Albizzia carbonaria*)

Cámbulo (*Erythrina poeppigiana*)

Cedro negro (*Juglans neotropica*)

Cedro (*Cedrela* sp.)

Guásimo (*Guazuma ulmifolia*)

Guayacán (*Tabebuia* sp.)

Yarumo (*Cecropia* sp.)

Nacedero (*Trichantera gigantea*)

Guandul (*Cajanus cajan*)

Tefrosia (*Tephrosia* spp.)

Tambor o frijolito (*Schizolobium parahyba*)

Balso blanco (*Heliocarpus americanus*)

Arboloco (*Montanoa cuadrangularis*)

Con esta práctica se propone la formación de una malla densa de raíces, que permita anclar las diferentes capas u horizontes del suelo, con el fin de evitar los deslizamientos, principalmente en suelos muy pendientes, con capas impermeables (Arcillosas) o susceptibles a deslizamientos (Arenosos) o en zonas muy lluviosas.

La vegetación en todos sus estratos, desde la herbácea hasta la arbórea, juega un papel importante en la estabilidad de las laderas, debido entre otras, a las siguientes funciones (Figura 27):

- Sus raíces aumentan la resistencia del suelo a los deslizamientos
- Captan gran cantidad de agua lluvia

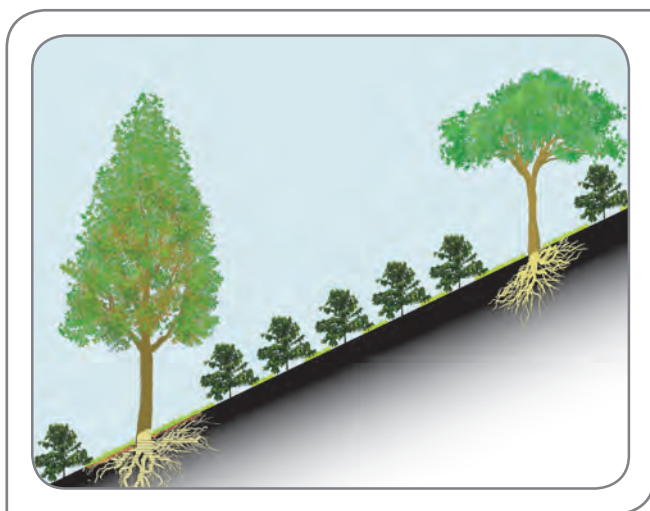


Figura 27.

Disposición de un arreglo espacial de árboles de conservación de suelos y aguas en una ladera cultivada con café.

- Ayudan a extraer agua del suelo en zonas húmedas
- Reducen la energía de las aguas de escorrentía
- Mejoran la regulación de aguas en los drenajes naturales
- Incrementan la rugosidad de la superficie del suelo
- Mejoran el ciclaje de materia orgánica y nutrimentos

Estrategias para favorecer la práctica

- Como estrategia de implementación se podría hacer un ejercicio de sensibilización con los cafeteros, al tener en cuenta los árboles de su región, la arquitectura de su dosel y sus raíces, sobre cómo los dispondría en una ladera susceptible a deslizamientos, como árboles de conservación para asegurar la sostenibilidad. La sensibilización y educación sobre la importancia de la vegetación arbórea en la conservación de suelos, aguas, biodiversidad y la motivación hacia el establecimiento de viveros comunitarios, son estrategias de importancia.
- La selección de especies a utilizar en la implementación de sistemas agroforestales como árboles de conservación de suelos y aguas, depende de las condiciones ambientales de la zona, de la pendiente del terreno, del tipo de suelo y del cultivo, entre otros.
- Reevaluar el concepto de sombrío por el de sistemas agroforestales tecnificados y el de árboles de conservación de suelos y aguas, de esta forma sembrar árboles con raíz muy profunda, principalmente en la base de la ladera, a medida que se avanza hacia la parte alta se siembran otras especies de menor tamaño. Esta práctica se recomienda para suelos con pendientes muy fuertes y con horizontes profundos susceptibles a deslizamientos.
- Se debe establecer una cobertura superficial densa, que no compita con el cultivo, ésta se encarga de anclar los primeros 10 cm del suelo, luego una capa de 50 cm de espesor es amarrada por el café u otro cultivo, a su vez esta capa se amarra con arbustos, preferiblemente con especies leguminosas (Tefrosia, guandul, matarratón, acacias y crotalaria, entre otras), posteriormente con especies de mayor tamaño, hasta terminar con grandes árboles como nogal y cedro, entre otros.

8. Uso de variedades mejoradas, fertilización con base en los análisis de suelo y manejo agronómico del cultivo

La cobertura ejercida por el cultivo también cuenta para prevenir la erosión. El cultivo del café es un factor muy importante en la recuperación y conservación del suelo y el agua, debido a que proporciona una eficiente cobertura

del mismo, siempre y cuando se adopten las prácticas agronómicas adecuadas, entre ellas, la fertilización y aplicación de enmiendas con base en el análisis del suelo (Hudson, 1982), dado que un desbalance químico del suelo provocado por una fertilización inadecuada, lo hace más susceptible a la erosión, en especial por el aumento de elementos que contribuyen a su dispersión y el lavado o pérdida de elementos que favorecen la agregación. Es importante recordar que, un cultivo afectado por plagas y enfermedades ve reducida su capacidad para cubrir el suelo, de allí la importancia del manejo integrado del cultivo en la conservación de suelos.

Estrategias para favorecer la práctica

- Si la variedad de café tiene adaptación regional, en la medida que el cultivo se desarrolle bajo las recomendaciones agronómicas, su nutrición, su vigor, desarrollo y, por ende, el cubrimiento del suelo será mejor, lo anterior se determina con base en los análisis de suelos.
- Motivar al caficultor para que en los planes de renovación de cafetales siempre implemente prácticas de conservación de suelos y aguas, y en unión con el extensionista haga un análisis profundo e integral sobre la vocación de uso del suelo y la aplicación de las prácticas agronómicas fundamentales que favorecen la sostenibilidad, como la selección de la variedad, densidad de siembra apropiada y análisis de suelo, entre otras. Una práctica de sensibilización sería hacer el ejercicio en el campo sobre la medición visual de la cobertura ejercida por una planta susceptible a la roya y una variedad mejorada, con las prácticas agronómicas adecuadas.

9. Manejo integrado de arvenses o coberturas

Las coberturas disminuyen la escorrentía y percolación, y son el principal agente de disipación de la energía de las gotas de lluvia y disminución de la erosión. El Manejo Integrado de Arvenses (MIA) es la práctica más eficiente para la prevención de la erosión (97%) (FNC, 1982), y por ello, como práctica bandera de conservación dentro de los sistemas productivos se le dedicará un poco más de profundidad (Figura 28).

Su implementación demanda un gran esfuerzo en la sensibilización y educación de la comunidad. Al entender la filosofía del MIA que consiste en el entendimiento de la importancia de la cobertura del suelo para prevenir la erosión, con la integración de los diferentes métodos de control de arvenses, se podría implementar el manejo integrado, independiente de las herramientas utilizadas para tal fin, como el caso del selector de arvenses, herramienta muy útil para llevar a cabo la filosofía del MIA; sin embargo, a pesar de su



Figura 28.

Sistema productivo de café con la implementación del manejo integrado de arvenses.

utilidad, no se debe convertir en el eje central de la adopción de MIA, ya que las bases están en interiorizar y comprender su filosofía.

La utilización de un solo método de control siempre tiene dificultades, debido a la especialización de las poblaciones de arvenses frente al mismo método, sea manual, mecánico o químico, como por ejemplo la aparición de arvenses resistentes a herbicidas (Menza y Salazar, 2006). La integración de diferentes métodos de control no asegura la implementación del MIA sino va acompañado de la filosofía de no desnudar el suelo.

El solo hecho de integrar diferentes métodos, por ejemplo, el control químico con selector de arvenses y corte con machete, no asegura que se haga el MIA, si estas prácticas se realizan para desnudar el suelo. Además, la aplicación del MIA no debe depender exclusivamente de la adopción de una herramienta.

Estrategias para favorecer la práctica

Interiorizar la filosofía del MIA que consiste en mantener el suelo con coberturas para conservarlo, al igual que el agua, sin que se afecte la productividad y los costos de producción, lo cual se logra al disminuir la proporción de las poblaciones de arvenses agresivas y favorecer aquellas de fácil manejo y mediana y baja interferencia con el cultivo.

Existen las siguientes estrategias para la implementación del MIA:

- La interiorización y apropiación de la filosofía, las estrategias y las herramientas del MIA por parte del extensionista, la cual es de suma importancia para transmitir un mensaje seguro y confiable.
- La sensibilización y educación del agricultor, su familia y demás trabajadores, es el primer paso para la implementación del MIA.
- El reconocimiento de las arvenses por su grado de interferencia. Acercar a los cafeteros con las arvenses, construyendo con ellos un listado de aquellas más agresivas en la finca, cuenca o vereda.
- Abordar el tema de los costos del MIA. Los costos siempre serán una inquietud y limitante para que el cafetero emprenda la adopción del MIA, al igual que las demás prácticas de conservación de suelos y aguas que se implementen, por lo que se debe demostrar la rentabilidad y efectividad en el tiempo. La evaluación y el seguimiento de los costos de las desyerbas y la implementación de lotes de demostración, donde se validen los costos del MIA frente al manejo tradicional, puede ser una estrategia que contribuya en su adopción.
- Análisis integral sobre el efecto del MIA en la productividad. La duda sobre el efecto de las coberturas en la producción también puede ser una barrera para la adopción del MIA, como práctica de conservación de suelos y aguas.
- Superar las dificultades con el uso de las herramientas para el MIA. Apropiación y acercamiento al selector de arvenses.
- Abordar la implementación del MIA en diferentes sistemas de producción de café.

10. Abonos verdes y aplicación de abonos orgánicos

Los abonos verdes y orgánicos se conocen mundialmente como una práctica de mejoramiento y conservación de suelos y aguas. En cada zona se debe evaluar previamente el desarrollo de las especies utilizadas como abono verde y su efecto en el desarrollo del café (Figura 29).

En las regiones cafeteras, dado los bajos volúmenes disponibles de abonos orgánicos, se recomienda como práctica de conservación de suelos su aplicación para su acondicionamiento físico, cuando ya están erosionados o han perdido parcial o totalmente el horizonte orgánico.

Estrategias para favorecer la práctica

En cuanto a los abonos verdes se recomiendan sombríos transitorios en zonas con déficit hídrico prolongado o en

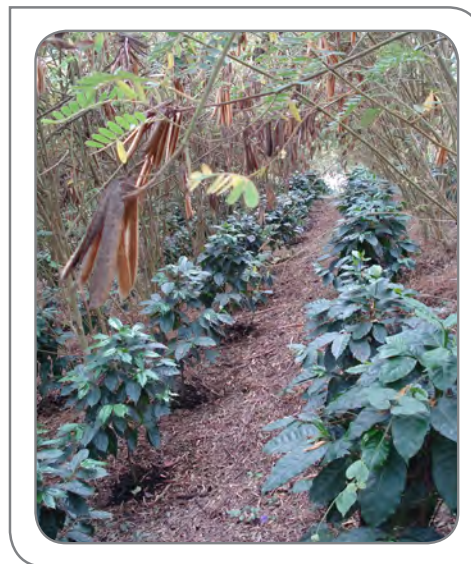


Figura 29.

Abonos verdes y orgánicos como práctica de conservación de suelos y aguas en áreas con déficit hídrico.

suelos de baja productividad, con especies como: Guandul, crotalaria o tefrosia. En cada zona se debe evaluar previamente el desarrollo de estas especies y su efecto en el café. Así como implementar plantas leguminosas adaptadas a cada región.

11. Protección de taludes, cunetas y caminos

En muchos sitios se tiene la cultura de eliminar por completo la cobertura de los taludes y cunetas en las empresas cafeteras, por medio de herbicidas, quema y corte con machete. Estas prácticas aceleran la erosión y pueden causar la inestabilidad del talud y, con ello, movimientos en masa.

Estrategias para favorecer la práctica

Hacer un manejo selectivo de coberturas en los taludes y cunetas; en lo posible mantenerlas con coberturas vivas para aumentar la rugosidad, disminuyendo la velocidad de las aguas (Figura 30), tanto en los taludes como en las cunetas. También se recomienda la construcción de disipadores de energía con latas de guadua dentro de las cunetas (Figura 31).

12. Monitoreo y drenaje de las aguas subsuperficiales en la base de las laderas o taludes

En términos generales, los suelos de ladera de la región cafetera ubicados en condiciones de exceso hídrico



Figura 30.

Prácticas para el manejo de cunetas, protegidas con coberturas vivas.

requieren de drenaje. Típicamente, en una ladera se presentan diferentes gradientes de humedad, de tal manera que el balance de humedad en la cima de la ladera es diferente al balance de humedad de la parte baja de ésta, lo mismo que en las depresiones o concavidades. Igualmente, la presencia de horizontes de muy baja permeabilidad (Por ejemplo donde el suelo se encharca) o cambios significativos de las propiedades físicas de los horizontes del suelo pueden generar flujos laterales de agua, y en algunos casos formar planos de falla, que incrementan el riesgo de movimientos en masa de las laderas (Hincapié, 2011; Salazar, 2011).

En general, el subsuelo presenta una permeabilidad lenta, que favorece la saturación permanente de los horizontes de suelo. Estos excesos de humedad se concentran principalmente en el pie de la ladera o en algunos casos en sitios distintos de la misma (A media ladera), donde hay discontinuidad en la permeabilidad de los materiales.

La fluctuación de los niveles freáticos (Agua subterránea), cerca a la superficie y en la base de ladera hacen que ésta sea susceptible a los movimientos en masa por incremento de la presión intersticial ejercida por el agua.

Estrategias para favorecer la práctica

En épocas con exceso hídrico se recomienda hacer un monitoreo de los niveles freáticos en la base de las laderas, en diferentes épocas del año, para drenarla, si el nivel freático está entre los 2 y 3 m de profundidad (Figura 32).

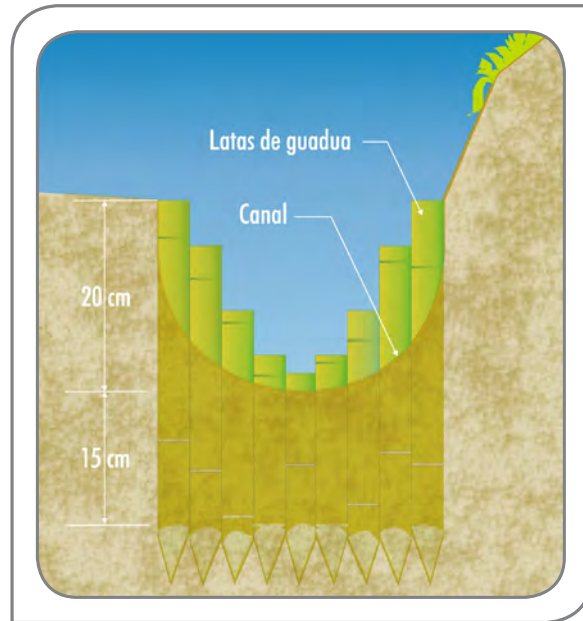


Figura 31.

Prácticas para el manejo de cunetas. Disipadores de energía con latas de guadua.

13. Manejo de las aguas al nivel de finca y sistema productivo

El manejo de las aguas debe hacerse de una manera eficiente, enfocada hacia el desagüe ordenado de las laderas, evitando causar problemas de erosión e infiltración indebida en puntos frágiles, procurando conducir las hasta los drenajes naturales, los cuales deben estar bien protegidos.



Figura 32.

Monitoreo y drenaje en la base de la ladera.

Consideraciones prácticas

En muchos casos los deslizamientos y erosión avanzada en fincas cafeteras ocurren por un inadecuado manejo o conducción de las aguas lluvias y de escorrentía (Salazar e Hincapié, 2010); para evitar lo anterior, es importante capacitar al cafetero y la comunidad para:

- *Cuidar las obras de estabilidad y protección de su zona*
- *Mantener las cunetas y cajas colectoras de agua de las carreteras*
- *Conducir las aguas de escorrentía mediante zanjillas protegidas con vegetación o trinchos vivos a sitios igualmente bien protegidos con vegetación densa*
- *Drenar y evacuar aguas subsuperficiales*
- *Entregar las aguas directamente a los drenajes naturales, no dejarlas a media ladera*
- *Evitar concentrar grandes volúmenes de agua por un mismo sitio*
- *En los caminos o carreteras rurales de ladera es conveniente la disipación o división del agua en trayectos cortos, por ejemplo cada 20 m, para evitar la erosión por concentración de altos volúmenes del agua*
- *Canalizar las aguas de los techos y llevarlas a un lugar seguro y protegido con vegetación, o amortiguar su golpe en el suelo*
- *Conducir adecuadamente las aguas de las viviendas y llevarlas al drenaje natural, haciendo un tratamiento previo de éstas*
- *Monitorear las mangueras que están enterradas y hacer su mantenimiento continuo*
- *Monitorear constantemente los tanques de almacenamiento de agua o pozos, asegurándose que no existan filtraciones o reboses*

Estrategias para favorecer la práctica

Se propone llevar a cabo un proyecto de manejo de aguas al nivel de la comunidad cafetera, mediante un proceso de implementación de las prácticas mencionadas, en las fincas que conforman las veredas o cuencas, lo cual se puede lograr a través de un proceso participativo, que incluye las etapas de socialización, diagnóstico, capacitación, implementación de estrategias y seguimiento.

14. Protección de drenajes naturales, fuentes hídricas, afloramientos o nacimientos de aguas

La protección de los drenajes naturales debe hacerse en toda la cuenca o vereda, con la intervención y participación de toda la comunidad.

La principal práctica para prevenir los movimientos masales y problemas de erosión avanzada, es mantener y proteger los drenajes naturales por pequeños que éstos sean (Salazar e Hincapié, 2006).

Se debe reforzar la conservación de los drenajes naturales, sembrando vegetación de diversas especies, incluyendo plantas de rápido crecimiento, con el fin de dar estabilidad a la base de las laderas, evitar el socavamiento ocasionado por el flujo incontrolado de las aguas y a la vez proteger los nacimientos de agua (Figura 33).

Estrategias para favorecer la práctica

- La elaboración del mapa o croquis de la finca, cuenca o vereda, también es de utilidad para establecer estrategias en la conservación y conectividad de los drenajes naturales
- Los drenajes deben conectarse entre sí, desde la parte más alta hasta el drenaje principal, lo cual permite una adecuada regulación de las aguas en toda la cuenca; a medida que el drenaje es de mayor tamaño e importancia, debe tener una mayor área de protección, con vegetación espontánea o siembra con especies propias de la zona. Siempre se debe evitar llevar los cultivos hasta la orilla de los drenajes naturales.

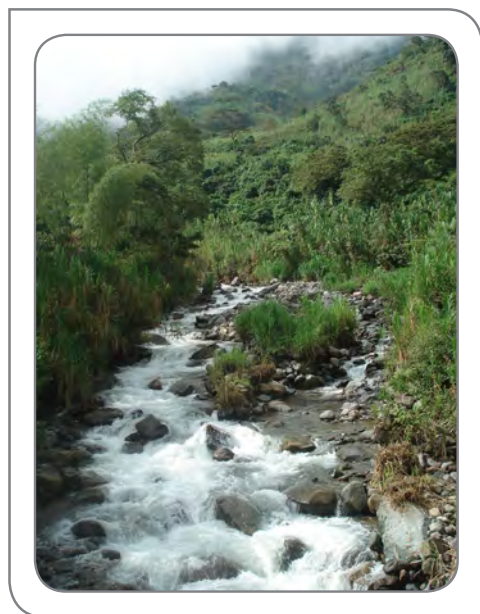


Figura 33.

Protección de fuentes hídricas.

15. Prácticas con restricciones

Se consideran prácticas con restricciones debido a que no son útiles en todos los tipos de suelos o ambientes.

Acequias de ladera en curvas a nivel. Las acequias de ladera son canales transversales que conducen las aguas en la ladera hacia un drenaje natural o sitio seguro (Figura 34). La restricción está en las características del suelo y subsuelo, ya que si es muy permeable y suelto la acequia se convierte en un foco de infiltración del agua, que en zonas de exceso hídrico conlleva a deslizamientos. Si no hay una entrega adecuada del agua o si la acequia concentra altos volúmenes de agua hacia un solo sitio, esta práctica favorecerá los movimientos en masa.

Una práctica para prevenir la erosión en zonas de alta precipitación es disminuir y evacuar la cantidad de agua que ingresa a la ladera, esto se logra con obras mecánicas de desviación de aguas de escorrentía, como el caso de las acequias de ladera en curvas a nivel.

Este tipo de práctica se debe restringir en el caso de suelos poco profundos y cuando los horizontes subsuperficiales sean inestables y susceptibles a la erosión, debido a que ésta demanda del conocimiento del caudal de las aguas de escorrentía, que se pueden llegar a conducir en un momento dado. Las acequias preferiblemente deben estar revestidas con cobertura vegetal y conducir las aguas a drenajes naturales protegidos con vegetación (FNC, 1979).

Terrazas individuales. Esta práctica consiste en hacer una pequeña terraza individual en el sitio específico donde se siembra el café; en zonas con déficit de humedad fuerte permite conservar la humedad al favorecer la infiltración y disminuir la escorrentía. Su aplicación se debe restringir en suelos poco profundos y en zonas con exceso hídrico (FNC, 1979).

Estrategias para favorecer la práctica

La acequia debe trazarse preferiblemente en curvas a nivel y estar revestida con vegetación. Esta práctica se puede integrar con la siembra de las barreras vivas. Se recomienda en suelos con profundidad efectiva mayor a 1,5 m de textura franca a franca arcillosa, tanto del suelo como del subsuelo.

Consideraciones prácticas

Con la adopción de las prácticas de conservación de suelos y aguas se previene o reduce la erosión hídrica y se mantiene o aumenta la fertilidad del suelo, y con esto la buena producción de los cultivos. Así mismo, algunas prácticas de conservación de suelos y un adecuado manejo de aguas ayudan a prevenir los deslizamientos o movimientos en masa.

Restauración ecológica del suelo

Prevención y mitigación de los movimientos en masa

En el mundo cada vez son más frecuentes los estudios sobre **restauración ecológica del suelo** para la mitigación de movimientos en masa.

La vegetación y la materia orgánica juegan un papel muy importante en la estabilidad de las laderas, debido a que influyen en la regulación hídrica y en el incremento de la resistencia al corte; bajo esta premisa se han investigado los tratamientos de prevención y mitigación de movimientos en masa, los cuales son ambiental, social y económicamente viables para las zonas cafeteras. “Una gran proporción de los movimientos en masa se pueden evitar si el problema se identifica

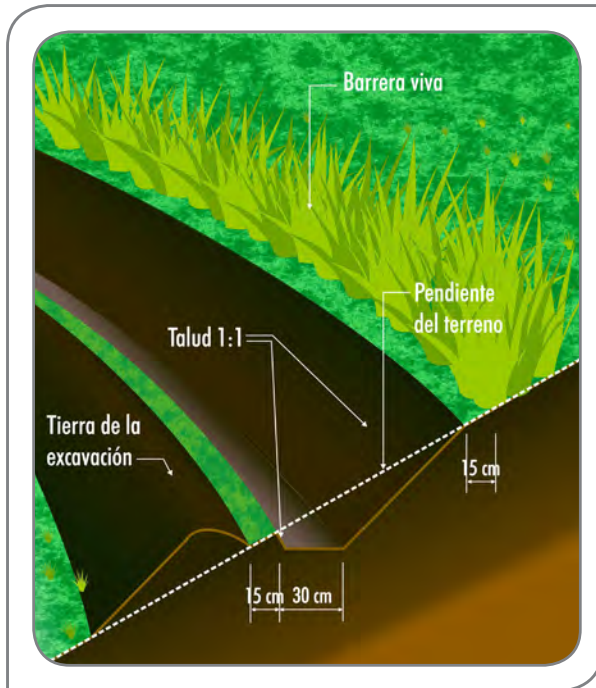


Figura 34.

Acequia de ladera en contorno con barrera viva (Tomado de FNC, 1979).



Figura 35.

Detalle de un tratamiento de bioingeniería. Al inicio se espera que la resistencia de los troncos o tallos vivos o inertes proporcionen estabilidad a la ladera. En el futuro la estabilidad estará dada por el desarrollo de la vegetación.

con anterioridad y se toman medidas de prevención o control” (Suárez, 1998).

La **restauración ecológica** es el proceso de asistir el recubrimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido por factores naturales o antrópicos (National Research Council, 1992; Barrera y Valdés, 2007). Esta rama de la ecología es muy amplia y allí tienen cabida los **métodos de restauración de laderas afectadas por erosión y movimientos en masa como la bioingeniería del suelo y los tratamientos biotécnicos**.

Bioingeniería del suelo

Es un tipo de restauración ecológica que se refiere al uso de los organismos vivos, principalmente la vegetación, como un medio biológico y de ingeniería para la prevención y control de la erosión y movimientos en masa (Gray y Sotir, 1996; Morgan y Rickson, 1995) (Figura 35). De la anterior definición puede entenderse que el uso de la cobertura vegetal y la conservación o mejoramiento de la materia orgánica del suelo, se convierten en herramientas de restauración ecológica

del suelo ante su degradación por la erosión y los movimientos en masa. **“Una buena cobertura vale por muchas estructuras de conservación, más fácilmente que otras prácticas de conservación más o menos complejas¹”.**

Funciones de la vegetación y la materia orgánica en la bioingeniería

La vegetación, especialmente arbórea, cumple tres funciones principales en la ladera:

Incremento de la resistencia al corte del suelo, debido al refuerzo y anclaje que ejercen las raíces y el tronco sobre el mismo (Tabla 2). Las raíces transfieren su tensión al suelo y el anclaje de los troncos permite que éstos actúen como pilares o anclajes en los taludes, especialmente cuando se ubican en la base de ladera (Suárez, 1998).

La regulación de los excesos de agua, que pueden saturar y erosionar el suelo, se da por tres procesos que son: La interceptación, evapotranspiración y disminución de la energía erosiva del agua (Morgan y Rickson, 1995).

¹ Rafael Salcedo, citado por Fernando Suárez de Castro, Chinchiná, abril 19 de 1951. Circular de Extensión 273. Campaña de Defensa y Restauración de los Suelos.

Incremento de la cohesión dado por la materia orgánica, las raíces y los organismos del suelo. La materia orgánica mejora la resistencia del suelo a los deslizamientos (Figura 36), debido al aumento de la cohesión, aun en condiciones de saturación del mismo por el agua.

Según Gray y Sotir (1996) la **bioingeniería del suelo** es algo único, en el sentido que las partes de las plantas por ellas mismas, raíces y tallos, sirven como principales elementos mecánicos y estructurales en el sistema de protección de una ladera. Estructuras vivas y plantas enraizadas son embebidas en la superficie, en varios arreglos geométricos, de tal forma que sirven para reforzar el suelo, drenaje hidráulico y barreras para el movimiento de tierra.

Si las plantas vivas y partes embebidas de las mismas son utilizadas para reforzar el suelo y su drenaje, entonces se requiere algún entendimiento sobre los efectos hidráulicos y mecánicos de la vegetación en las laderas, para poder implementar con éxito la estabilización con bioingeniería del suelo.

Alcances de la bioingeniería del suelo

La bioingeniería no siempre es la solución para la prevención y mitigación de todos los problemas de erosión

y movimientos en masa, ya que existen movimientos de masa y casos de erosión avanzada complejos y muy profundos, donde su combinación con otras técnicas puede ser más eficiente.

Al aplicar la **bioingeniería del suelo** es importante tener en cuenta que en tanto se da el desarrollo de la vegetación para cumplir su función de regulación hídrica y anclaje, se debe estabilizar el suelo, inicialmente con otras técnicas de ingeniería o prácticas culturales, mientras se establece la vegetación.

A pesar de que en el mundo se tienen estudios cuantitativos del aporte de algunas plantas al incremento de la cohesión en los suelos (Ziemer, 1981; Barrera, 2003), lo cual favorece su resistencia al corte, esto generalmente no se aplica a los diseños de estabilidad, como tampoco los aportes positivos en la regulación del agua del suelo. Se conoce poco sobre el sistema radical de las plantas y su interacción en diferentes suelos.

Cuando se trata de planos de falla profundos (Más de 10 m) las raíces difícil o lentamente alcanzan estos estratos. En muchos estudios de bioingeniería se desconoce el umbral de estabilidad dado por la vegetación, en el sentido que existe un punto donde deja de jugar a favor de la estabilidad para convertirse

Especie vegetal	Cohesión (kPa)	Resistencia al corte (Rc)
Nogal (<i>Cordia alliodora</i>)	56,2	65,5 a
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i>)	25,5	60,2 a
Guamo (<i>Inga codonantha</i>)	36,5	59,0 a
Café var Colombia (<i>Coffea arabica</i>)	23,0	44,2 b
Suelo sin cobertura	21,4	43,7 b

Tabla 2.

Cohesión y resistencia al corte con diferentes especies arbóreas en un suelo derivado de cenizas volcánicas de la zona cafetera, con un promedio de 0 a 1,20 m de profundidad (Barrera, 2003). Las letras distintas indican diferencias estadísticas

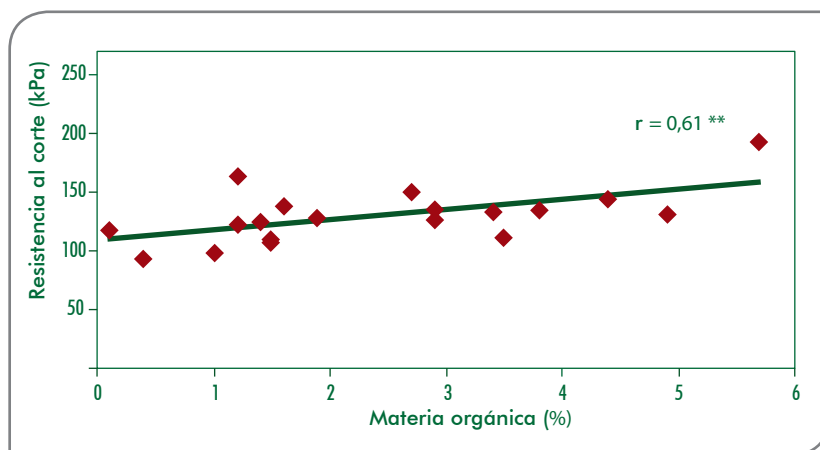


Figura 36.

La resistencia al corte, que es un indicador directo de la resistencia de la masa de suelo a la rotura o falla sobre una superficie determinada, está positivamente relacionada con el contenido de la materia orgánica. Información obtenida del horizonte B en siete unidades de suelo de la zona cafetera colombiana (Medina y Salazar, 2009). Los rombos indican el número de mediciones

en un factor que incrementa los esfuerzos cortantes. Por esta razón, existe la posibilidad de la aplicación de tratamientos biotécnicos.

La estabilización biotécnica del suelo

La estabilización biotécnica utiliza elementos o estructuras mecánicas en combinación con elementos biológicos (o plantas) para controlar y prevenir las fallas de las laderas y la erosión (Figura 37). Ambos elementos deben funcionar de manera integrada y complementaria (Gray y Sotir, 1996).

Función de la vegetación en la estabilidad de laderas

La vegetación juega un papel muy importante en la estabilidad de las laderas, por esto el cambio de bosques a pastos puede incrementar, en más de tres veces, los eventos de deslizamientos (Crozier, 2010). El cambio o la intervención de la cobertura vegetal, además de disminuir el refuerzo de las laderas, tiene efectos fundamentales en las relaciones hidroedafológicas, término entendido como la rama de la edafología que da cuenta del rol del suelo en la circulación de las aguas continentales que guardan estrecha relación con la estabilidad de las laderas (Gray y Sotir, 1996).

La degradación o remoción de la vegetación (Deforestación), prácticas agrícolas inadecuadas, sobrecargas, explanaciones, llenos artificiales, construcción de reservorios, intervención de drenajes y concentración de aguas (Crozier, 2010) pueden incrementar los deslizamientos, por lo cual se considera que la actividad humana influye mucho en su incremento.

Limitaciones de la vegetación

Los procesos de erosión y movimientos en masa están relacionados con factores geológicos, climáticos, edafológicos y sociales, y la vegetación aunque importante, es solo un factor que por sí solo no puede regular todo el sistema y evitar que se presenten deslizamientos o inundaciones. Por ejemplo, cuando en una cuenca se registran niveles de la precipitación por encima de los niveles históricos, el papel de la vegetación en la regulación hídrica puede disminuir (Andréeassian, 2004).

Aspectos como el peso de los árboles y los esfuerzos tipo palanca que se aplican al suelo, están en permanente debate, debido al efecto del viento sobre los mismos. El primero juega a favor y en contra, a favor por incrementar el esfuerzo de confinamiento que favorece



Figura 37.

Ejemplo de estabilización biotécnica. En la parte superior del talud se observa la construcción de obras civiles y en la inferior tratamientos de bioingeniería.

la estabilidad de la ladera y, en contra, dado que el peso se descompone también en esfuerzos horizontales y verticales, que en un momento dado y en especial bajo condiciones de saturación del suelo pueden afectar negativamente la estabilidad; el segundo, es menos frecuente dado que podría darse en zonas con fuertes vientos que no son habituales en la zona cafetera.

En un bosque natural, los posibles efectos negativos de la vegetación en la estabilidad de laderas son compensados por el incremento en la cohesión y resistencia al corte del suelo dado por las raíces y troncos (Bishop y Stevens, 1964). Sin embargo, aunque todavía existen dudas, los efectos negativos potenciales debidos a la vegetación podrían disminuir con la disposición y arquitectura de los árboles que se ubican en el talud y con adecuados sistemas de drenaje; es así como los árboles de mayor peso y altura podrían ubicarse en la base de ladera y los de menor peso en la corona (Suárez, 1998).

Tratamientos de restauración ecológica del suelo

Los caficultores y extensionistas, dentro de su quehacer en las regiones cafeteras se enfrentan a diario con retos de casos de movimientos en masa y erosión avanzada, donde se ve afectado directamente el bienestar del cafetero, su familia y las comunidades, en este sentido las preguntas pueden ser varias **¿Qué hacer?, ¿Por qué y para qué se debe restaurar?, ¿Cuándo se debe restaurar?, ¿Con qué y con quiénes se debe restaurar?, ¿Vale la pena restaurar?** (Barrera y Valdes, 2007).

Para ello, se dan unas **recomendaciones básicas o primeros auxilios** que pueden ser de gran ayuda para el cafetero y que permiten abordar la restauración ecológica de áreas degradadas.

Recomendaciones básicas para el tratamiento de deslizamientos o erosión avanzada en empresas o cuencas cafeteras

1. En el caso de una comunidad afectada por movimientos en masa o erosión avanzada, debe hacerse un inventario lo más exacto posible, de las personas, área productiva, áreas en riesgo y afectadas, entre otros aspectos, y apoyar a la comunidad en la gestión de recursos ante las instituciones municipales y gubernamentales; el proceso es lento y costoso, por lo que es mejor la inversión en prevención, educación y mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades. Sin la organización comunitaria y la gestión ambiental y de recursos es difícil el inicio de obras de restauración, ya que el paso de la asesoría a la práctica demanda más recursos económicos que las obras preventivas. **La restauración ecológica debe hacerse con la participación activa de la comunidad.**

2. Al presentarse un deslizamiento o un caso de erosión avanzado, antes de emprender cualquier tipo de obra se deben **establecer las relaciones de causalidad**, con la participación del caficultor, ya que en muchos de los casos al retirar el agente causal, el problema tiende a estabilizarse por sí solo.

Para ello se debe hacer un diagnóstico e inventario sencillo pero detallado de la zona, que contemple el tipo erosión o movimiento en masa, tipo y estado del suelo, subsuelo y roca, el uso actual del suelo y su uso potencial, el manejo actual del suelo, clima, geomorfología, vegetación, presencia de aguas superficiales y subsuperficiales, estado de la infraestructura y las viviendas, el manejo de aguas e información socio económica, entre otros. Se requiere de un análisis de la región o cuenca antes de centrarse en un sitio específico, lo cual se logra con la ayuda de la fotointerpretación de imágenes aéreas o satelitales recientes o antiguas (Figura 38).

3. En algunos casos de erosión avanzada, por ejemplo, el control más efectivo puede estar en aislar el sitio con cercos, para permitir la regeneración natural de la vegetación y evitar la entrada de animales.

4. Antes de implementar cualquier tipo de obra es fundamental **aislar el sitio, el perfilado de la corona del deslizamiento o cárcava (Figura 39), y el sellado**



Figura 38.

Inventario, diagnóstico y análisis de causalidad con participación de la comunidad.



Figura 39.

Perfilado del talud.

de grietas al alrededor. El perfilado en muchas ocasiones permite disminuir el avance del proceso erosivo hacia la corona de la ladera y a disminuir la pendiente de los escarpes. Aunque el área agrietada sea muy grande, es de vital importancia proceder a su sellado dado que el agua dentro de la grieta genera presiones intersticiales que son negativas para la estabilidad del terreno; este sellado se logra mediante la utilización de un pisón de madera e incorporando en la grieta, suelo proveniente del mismo deslizamiento o de la misma área.

5. Desviar en forma segura las posibles aguas de escorrentía que puedan entrar al sitio, es esencial

para evitar que el proceso continúe extendiéndose. Esto puede lograrse con zanjas o canales revestidos de cobertura vegetal (Figura 40a), caballones o barreras vivas en la corona del deslizamiento o cárcava, que conducen las aguas de la corona hacia drenajes naturales protegidos (Figura 40b).

- Es común que en diferentes puntos dentro del deslizamiento o cárcava afloren o “nazcan” aguas subsuperficiales que saturan el terreno, convirtiéndolo en “coladas de lodo”, por lo que a esta agua se le debe dar salida rápida por medio de un sistema de drenaje. En la restauración ecológica se propone el uso de los **filtros vivos o biofiltros**, que consisten en zanjas construidas en el sentido de la pendiente, entre 0,5 a 1,5 m de profundidad (Hasta llegar a suelo firme), las cuales se llenan con material vegetal vivo dispuesto en el mismo sentido de la pendiente y, posteriormente, se cubren con suelo, este sistema permite que el agua interna drene libremente por el filtro, evitando la saturación del suelo (Rivera, 1998) (Figuras 41). Adicionalmente, el material vegetal utilizado rebrota cumpliendo con las funciones de anclaje y evapotranspiración, entre otras. También pueden realizarse filtros con material inerte como las rocas (Figura 42) y geotextiles, entre otros.

En la elaboración de drenajes, es importante tener en cuenta la textura, porosidad y permeabilidad de los horizontes de suelo, ya que existen suelos difíciles de drenar dada su alta capacidad de retención de humedad. Además, se debe considerar que la pendiente media de los drenes no debe ser menor al 2%. En pendientes superiores al 30% los materiales que conforman los filtros vivos y se deben sostener o complementar con pequeños trinchos, para evitar su desplazamiento ladera abajo.

- Si necesariamente por el sitio corren aguas de escorrentía, la mejor opción es disipar su energía con diques escalonados, construidos con material vivo o inerte de la propia finca, barreras vivas o trinchos vivos. Los trinchos vivos son bioestructuras que permiten disminuir la velocidad del agua de escorrentía, sin obstruir el paso libre de la misma y, por lo tanto, evitar el socavamiento en el fondo del drenaje y la base de sus taludes (Figuras 43 y 44), son construidos con vegetación viva propia de la zona y de fácil propagación vegetativa (Rivera, 2002)(Figura 45).

Para el cálculo de la distancia entre trinchos vivos es posible emplear la siguiente fórmula (Rivera, 2002):

$$E = H/S$$

Donde,

E: Espacio entre los trinchos vivos

H: Altura efectiva del trincho

S: Pendiente del terreno

- Una vez se han evacuado, aislado y manejado las aguas subsuperficiales y superficiales se debe proceder a la **reforestación del área**, para ello, la mejor práctica es la realización de empalizadas, disipadores de la energía de la escorrentía o pequeñas terrazas escalonadas, conformadas por suelo del mismo sitio y material vegetal vivo, bien empotrado en el terreno.

En la base del talud, con el fin de otorgar consistencia a éste y propiciar su estabilización, contención y amarre,



Figura 40.

Formas de desviación de aguas de escorrentía en la corona del talud. **a.** Zanjas revestidas con cobertura; **b.** Barreras vivas en la corona del talud.



Figura 41.

Drenaje de aguas subsuperficiales con filtros vivos o biofiltros.



Figura 42.

Filtro con material inerte (rocas).

deben hacerse terrazas escalonadas vivas, como se muestra en las Figuras 46 y 47, desde la base del talud, en material de guadua viva o verde, con yemas o brotes frescos, o estacas de material vegetal vivo de especies propias de la zona.

Las guadas o material vegetal vertical, debe ser enterrado a 2 m de profundidad y separado 1 m, aproximadamente. La primera guadua o material vegetal horizontal debe estar casi en su totalidad enterrado, el número de guadas o estacas vegetales horizontales dependerá de la pendiente del terreno, pueden ser desde 2 hasta 6; es recomendable que la terraza no sobrepase 1 m de altura, debido a que el peso del suelo que la conforma puede hacerla colapsar, además, las terrazas en zonas con exceso hídrico no deben ser construidas con el fin de almacenar o retener aguas, por ello deben tener una leve inclinación en el sentido de la pendiente, y es recomendable que tengan un adecuado sistema de drenaje.

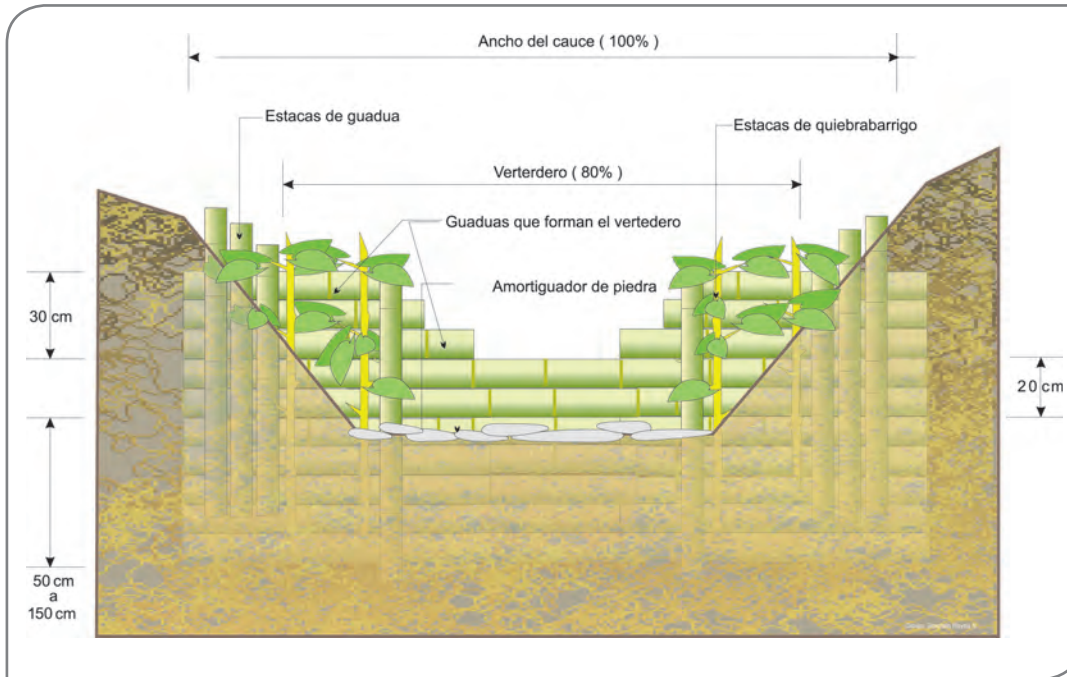
**Figura 43.**

Diagrama de trinchos vivos (Adaptado de Rivera, 2002).

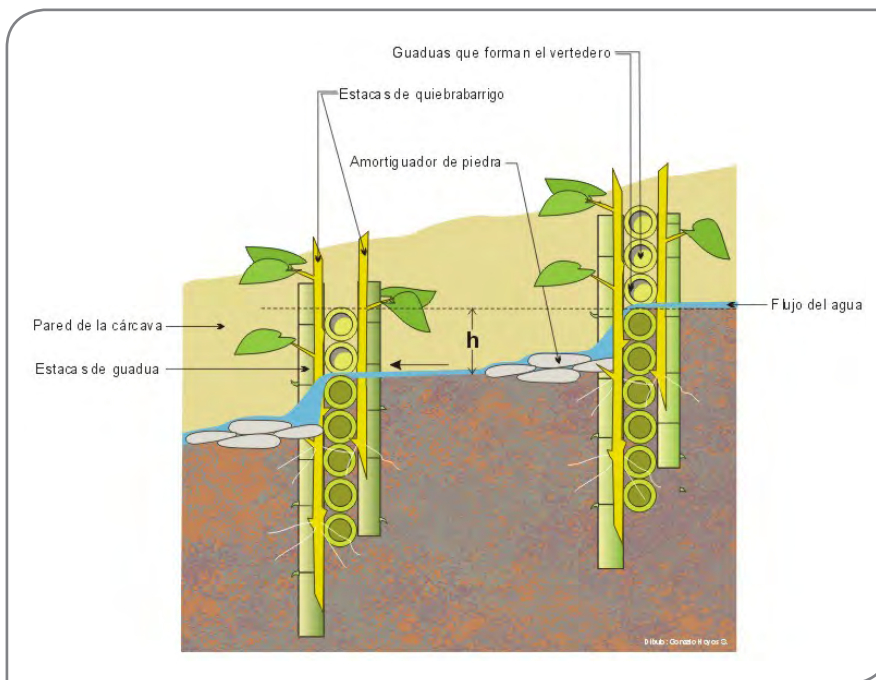
**Figura 44.**

Diagrama de trinchos vivos (Adaptado de Rivera, 2002).

9. **Reforestación con especies arbustivas y arbóreas o establecimiento de árboles de conservación**, para el anclaje de los horizontes del suelo con vegetación. Esta práctica de restauración ecológica consiste en crear una malla densa de raíces que permita brindar anclaje a los diferentes horizontes del suelo, tanto para la prevención como para el control de movimientos en masa. Con ésta se busca que los árboles y arbustos cumplan algunas funciones básicas en la ladera, como

incrementar la resistencia del suelo al corte, también se busca que la vegetación contribuya a la regulación de los excesos de agua que pueden saturar y erosionar el suelo.

10. **Implementación de las prácticas de conservación de suelos y aguas en la empresa cafetera.** En muchos casos se observa que al aplicar adecuadamente



Figura 45.

Manejo de aguas superficiales con trinchos vivos escalonados.



Figura 46.

Ejemplos de reforestación y protección de taludes con terrazas escalonadas vivas

las prácticas de restauración de suelos en el sitio afectado, sino se realizan las prácticas preventivas de conservación de suelos y aguas en la empresa cafetera, los problemas de erosión y movimientos en masa continúan afectando los sistemas productivos. Por ello, el manejo de un área afectada debe contemplar la **integración de prácticas preventivas y de restauración.**

11. Por último, **el seguimiento, evaluación y mantenimiento con participación comunitaria** es muy importante para la sostenibilidad de las obras (Figura 48).



Figura 47.

Reforestación de los taludes con disipadores de energía vivos y siembra de cobertura vegetal (*Arachis pintoii*), en taludes inestables de alta pendiente.



Figura 48.

Seguimiento, evaluación y mantenimiento de las obras de restauración con participación comunitaria.

Restauración ecológica con participación comunitaria e institucional

Los retos de la comunidad

En Colombia, la legislación es rica en normas para el uso de los recursos naturales, pero el problema va más allá de las normas, es también de conciencia y acuerdos con las comunidades, sobre el valor estratégico de la conservación y adecuado uso de los bosques, el suelo y el agua (PNUD, 2011).

En general, las comunidades cafeteras presentan una reconocida organización que permite la planeación y elaboración de planes, programas y proyectos en conservación de suelos y aguas. Igualmente, la gran mayoría de comunidades presentan una gran fortaleza en su junta de acción comunal, fortaleza que es motivada, acompañada y dinamizada por el Servicio de Extensión (Figura 49).

Según (Gómez, s.f.) cuando la comunidad realiza proyectos comunes hay corresponsabilidad de todos con todos, así como una puesta en común de lo que cada uno es y de lo que cada uno tiene. Cuando se es consciente de las necesidades que afectan a todos, la comunidad se agrupa para solucionarlas a través de un proyecto comunitario participativo en la vereda o en la microcuenca.

Una comunidad participante se forma cuando hay intereses, problemas y necesidades comunes para actuar solidariamente y buscar soluciones con un objetivo común:

Consideraciones prácticas

*No todas las prácticas de conservación de suelos y aguas protegen completamente el suelo de la degradación o mejoran su capacidad productiva, por lo tanto, se deben emplear varias prácticas o técnicas simultáneamente en el sistema de producción o área que se desee proteger, un **sistema de producción de café con prácticas de conservación de suelos y aguas involucra la implementación combinada de obras físicas y prácticas agronómicas.***

el bienestar espiritual y material (Gómez, s.f), es lo que se debe fomentar y potencializar en las regiones cafeteras.

Por lo anterior, uno de los retos es lograr la sensibilización ante el problema de la erosión que vive la región, ocasionado además de los factores naturales, por el inadecuado manejo y uso de los suelos. Por ello, se enfatiza en la afirmación de que **“la erosión es un problema social”**, y sin organización, conciencia, educación y políticas gubernamentales e institucionales, es poco lo que se puede hacer para controlar este problema y, por el contrario, de no existir dicha organización con educación y políticas, el problema seguirá avanzando hasta afectar irreversiblemente la sostenibilidad en la región.



Figura 49.

Sensibilización y educación. La educación influye en la adopción de prácticas de conservación de suelos y aguas, en el entendimiento de las consecuencias de la degradación y en el cambio de comportamiento.

Como ejemplo, está la comunidad del Río Negro en Argelia (Antioquia), donde en una primera sensibilización del Servicio de Extensión se logró motivar a la comunidad para la elaboración de viveros comunitarios de especies forestales, para la siembra de árboles de conservación. Los agricultores motivados eligieron voluntariamente aportar un espacio en sus fincas para hacer en cada vereda o sector un vivero comunitario de especies arbóreas propias de la región, con la colaboración de toda la comunidad, y buscar el apoyo de las Alcaldías de los municipios de Argelia y Nariño, Cornare y el Comité de Cafeteros, como un primer paso para mitigar y prevenir los procesos de erosión y como un fruto de una primera jornada de sensibilización.

El reto de la educación en la conservación de suelos y aguas

Mundialmente se ha demostrado que los agricultores con mayor nivel de educación conocen la importancia de la aplicación de las prácticas de conservación de suelos y aguas, entendiendo su relación con la productividad y los efectos que causa la erosión dentro y fuera del sitio (Vignola *et al.*, 2010). Por tal razón, se recomienda proponer proyectos de educación a la comunidad, en especial en los agricultores adultos y los niños y niñas.

La educación ambiental juega un papel importante en el replanteamiento de un tipo de relación individuo-sociedad-naturaleza, a partir de la formación de valores y actitudes que desarrollen el respeto por la diversidad natural, social y cultural (Gómez, s.f).

El bienestar de las familias campesinas es el factor más decisivo para invertir en prácticas de conservación. Los cafeteros dinámicos y responsables, motivados a participar, son los primeros en realizar inversiones en conservación; esta inversión es principalmente en tiempo y trabajo (Kessler, 2006).

En las áreas cafeteras se refleja un desconocimiento del problema de la erosión, para lo cual una alternativa podría ser la educación y capacitación, orientada hacia la apreciación real del valor del suelo por parte del cafetero, de esta manera, se tomará conciencia que el deterioro por falta de prácticas adecuadas en el suelo afecta el valor del terreno y pone en riesgo la subsistencia de las futuras generaciones (Serna, 2009).

La educación sobre el uso, manejo y conservación de los recursos naturales, principalmente el suelo y el agua, debe ir necesariamente de la mano de políticas gubernamentales e institucionales y del fortalecimiento de la organización comunitaria con personas líderes motivadas voluntariamente hacia la conservación de los suelos y las aguas (Figura 50).



Figura 50.

Educación sobre el uso, manejo y conservación de los recursos naturales.

Recomendaciones prácticas

- No todas las prácticas de conservación de suelos y aguas protegen completamente el suelo de la degradación o mejoran la capacidad productiva del mismo, por lo tanto, se deben emplear varias prácticas o técnicas simultáneamente en el sistema de producción o área que se desee proteger. De allí que un sistema de producción de café con prácticas de conservación de suelos y aguas, involucra la implementación combinada de obras físicas y prácticas agronómicas, integrado al componente social y económico.
- Es necesario explorar con la comunidad las diversas alternativas integrales para la prevención y el control de la erosión y elegir las más convenientes en función de sus condiciones sociales, ambientales y económicas (Intereses propios, cultura, tipo de cultivo y planificación, entre otras).
- Las acciones de conservación de suelos y aguas deben considerar un trabajo conjunto de todos los habitantes, autoridades, organizaciones, instituciones y productores de la cuenca, vereda o municipio. Estas acciones deben estar integradas a las políticas, planes de desarrollo y de ordenamiento, en lo cual la organización comunitaria tiene un papel fundamental. Para lograr su adopción, se requiere de un apoyo técnico y social, donde el papel del extensionista en la conservación de suelos y aguas es un factor clave y de estímulo y motivación para los cafeteros.
- La actividad antrópica como la deforestación, la desprotección de los drenajes naturales, fallas en obras de infraestructura, manejo inapropiado y el conflicto en el uso del suelo son las causas generadas por el hombre más asociadas a los movimientos en masa al nivel de la empresa cafetera.
- La restauración ecológica del suelo, vista como la aplicación de la bioingeniería del suelo y los tratamientos biotécnicos, son opciones viables para la prevención y control de movimientos en masa en la región cafetera, debido a sus costos bajos, eficiencia e impacto ambiental positivo. Su implementación es un reto, sin embargo, se conocen algunas estrategias y primeros auxilios donde el extensionista puede influir para su aplicación con el apoyo de Cenicafé, con la participación comunitaria y la gestión ambiental.
- La restauración ecológica del suelo contribuye al incremento de la estabilidad de las laderas de la zona cafetera y en la mitigación de los movimientos en masa. Se fundamenta en el aprovechamiento de los beneficios de la vegetación y la materia orgánica en la estabilidad del suelo y la regulación del agua.
- El bienestar social y económico de las comunidades es fundamental para la conservación de los recursos naturales, al igual que la aplicación de la ciencia y la tecnología, ya sean técnicas avanzadas o la actualización de las prácticas tradicionales de manejo del suelo y el agua.

Literatura citada

- ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: From historical controversy to scientific debate. *Journal of hydrology* 15: 3.371-3.387. 2004.
- BARRERA G., J.E. Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas de la zona cafetera colombiana. Bogotá (Colombia), Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003.137 p.
- BARRERA, J.I.; VALDÉS, C. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum* 12: 11-24. 2007.
- BISHOP, D.M.; STEVENS, M.E. Landslide on logged areas in southeast Alaska. *USDA Forest Service, Northern Forest Experiment Station Research Paper NOR-1*, 18 p. 1964.
- CROZIER M. J. Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology* 124 (3-4):260-267. 2010.
- CRUDEN D. M. A simple definition of a landslide. *París: International association of engineering geology* 43 (1): 27-29. 1991.
- FNC. Cuarenta años de investigación de Cenicafe: Suelos. Chinchiná: CENICAFÉ. 1982.
- FNC. Manual del cafetero colombiano. Chinchiná: CENICAFÉ, 1979. 209 p.
- GÓMEZ A., A.; RIVERA P., J.H. La conservación de los suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera. Chinchiná : CENICAFÉ, 1993. 8 p. (Avances Técnicos No. 190).
- GÓMEZ A., A.; GRISALES G., A.; SUÁREZ S., J. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná: CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GÓMEZ A., A.; ALARCÓN C., H. Erosión y conservación de suelos en Colombia. p. 1-15. En: GÓMEZ A., A.; GRISALES G., A.; SUÁREZ S., J. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná: CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GÓMEZ A., A. La participación de la comunidad en la sostenibilidad del ambiente. Chinchiná : CENICAFÉ, (s.f.).
- GRAY, D.H.; SOTIR. R.B. *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control*. Nueva York : John Wiley and Sons, 1996. 400 p.
- HINCAPIÉ G. E.; SALAZAR G. L.F. Impacto de la erosión hídrica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y sobre la producción del cultivo de café. *Cenicafe* 62 (2) : 2012 (En imprenta).
- HINCAPIÉ G. E. Estudio y modelación del movimiento del agua en suelos volcánicos de ladera. [En línea]. Palmira : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias, 2011. Tesis: Doctorado. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6142/1/9005502.2011.pdf>. Consultado el 17 de diciembre de 2011.
- HUDSON, N. Conservación de suelos. Barcelona : Reverté, 1982. 352 p.
- IDEAM. Boletín informativo sobre el monitoreo de los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”. [En línea]. Bogotá: IDEAM, 2010. Disponible en internet: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=894>. Consultado el 30 de julio de 2010.
- JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Variabilidad climática en la zona cafetera colombiana asociada al evento de la niña y su efecto en la caficultura. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 8 p. (Avances Técnicos No. 389).
- KESSLER C.A. Decisive key-factors influencing farm households’ soil and water conservation investments. *Applied geography* 26(1):40-60. 2006.
- MANTILLA, G.; DE LA TORRE, L.E.; ORDÓNEZ, N.; CEBALLO, J.L.; EUSCÁTEGUI, C.; PÉREZ, P.; PÉREZ, S.; MARTÍNEZ, N.; SÁNCHEZ, R.; MALDONADO, N.; PÉREZ, S.; GAITÁN, J.; CHÁVEZ, L.; CHAMORRO, C.; FLÓREZ A. Los suelos: Estabilidad, productividad y degradación. p. 228-277. En: LEIVA, P. *El medio ambiente en Colombia*. 2da. ed. Bogotá : IDEAM, 2001
- MEDINA L., S.B.; SALAZAR G., L.F. Relación entre la resistencia al corte directo y propiedades físicas y químicas en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafe* 60(3):253-268. 2009.
- MENZA F., H.D.; SALAZAR G., L.F. Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona cafetera colombiana y alternativas para su manejo. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 350).

- MORGAN, R.P.C.; RICKSON, R.J. *Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach*. Washington : National academic press, 1995. 306 p.
- PNUD. *Colombia rural: Razones para la esperanza informe nacional de desarrollo humano 2011*. Bogotá : PNUD, 2011. 438 p.
- RIVERA P., J.H. *Construcción de trinchos vivos para la conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2002. 8 p. (Avances Técnicos No. 296).
- RIVERA P., J.H. *Control de cárcavas remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1998. 8 p. (Avances Técnicos No. 256).
- RIVERA P., J.H.; SINISTERRA R., J.A. *Uso social de la bioingeniería para el control de la erosión severa*. Cali : CIPAV, 2006. 110 p.
- RIVERA P., J.H.; GÓMEZ A., A. *El sombrío de los cafetales protege los suelos de la erosión*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1992. 8 p (Avances Técnicos No. 177).
- RIVERA P., J.H.; LAL, R.; AMÉZQUITA C., E.; MESA S., O.; CHAVES C., B. *Predicción de la erodabilidad en algunos suelos de ladera de la zona cafetera colombiana*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. 8 p.
- SADEGHIAN, S. *Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 43 p.
- SALAZAR G., L.F. *Determinación de la humedad del suelo para el inicio de movimientos en masa en la región cafetera colombiana con el uso de modelos físicos experimentales*. [En línea]. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2011. Tesis: Magister. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5442/>. Consultado el 5 de diciembre de 2011.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Los movimientos masales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 348).
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Interferencia de arvenses en diferentes etapas del cultivo del café en la zona cafetera central*. Chinchiná : CENICAFÉ, 60(2):126-134. 2009.
- SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. *Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 401)
- SÁNCHEZ T., E.; AHMED, K.; AWE, Y. *Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia: Un análisis ambiental del país para Colombia*. Washington: Banco mundial 2006. 1 p.
- SÁNCHEZ J., A. *Después de la inundación*. Coyuntura económica 41 (2):213-246. 2011.
- SÁNCHEZ, R., G.; VARGAS, H.; GONZÁLEZ, Y.; PABÓN, D. *Los fenómenos cálido del Pacífico (El Niño) y frío del Pacífico (La Niña) y su incidencia en la estabilidad de laderas en Colombia*. Bogotá : IDEAM, 2001. 12 p.
- SERNA G., C.A. *Valoración contingente de la erosión de los suelos de la zona cafetera central de Colombia*. Cenicafé 60(1):86-104. 2009.
- SUÁREZ D. J. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander, 1998. 548 p.
- SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. *Investigaciones sobre la erosión y conservación de suelos en Colombia*. Chinchiná : FNC, 1962. 473 p.
- SUÁREZ DE C., F. *Campaña de defensa y restauración de los suelos*. Chinchiná : CENICAFÉ, 1951. (Circular No. Ex-273).
- TERLIEN M., T.J. *Modeling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides: The integration of hydrologic model, slope stability models and geographic information systems for the hazard zonation of rainfall-triggered landslides with examples from Manizales (Colombia)*. Enschede: International institute for aerospace survey and earth sciences, 1998. 233 p.
- VIGNOLA, R.; KOELLNER, T.; SCHOLZ, R.W.; MCDANIELS, T.L. *Decision-making by farmers regarding ecosystem services: Factors affecting soil conservation efforts in Costa Rica*. Land use policy 27(4):1132-1142. 2010.
- ZIEMER, R.R. *Roots and the stability of forested slopes. Erosion and sediment transport in Pacific rim steepplands*. Christchurch. IAHS 132:343-361. 1981.