



CAPÍTULO 9

PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Sandra Patricia Montenegro Gómez¹⁵

Silvia Eugenia Barrera Berdugo¹⁶

Juan Sebastián Chiriví Salomón

Sandra Yamile Pulido Pulido

Yulian Adalberto Sepúlveda Casadiego

Martha Cecilia Vinasco Guzmán¹⁷

Martha Liliana Palomino Leiva¹⁸

9.1. Introducción

Las funciones del suelo dependen de una serie de propiedades físicas químicas y biológicas, que combinadas determinan las cualidades esenciales del suelo. Estas cualidades a su vez garantizan que el suelo pueda cumplir sus roles ecológicos y productivos, y en consecuencia beneficiar la preservación de la vida en el planeta (Brammer & Nachtergaele, 2015); por lo tanto, el uso y manejo sustentable del suelo permite convivir en conexión con sus atributos y disfrutar de forma armónica de sus vitales servicios. Contrario a lo deseable, el suelo ha sufrido una alteración antrópica desmedida sin considerar las consecuencias. Estudios a nivel global han identificado que los cambios en el uso de la tierra durante los últimos 50 años por áreas para la agricultura y la ganadería, han generado alteraciones en la abundancia, composición y actividad de las comunidades microbianas, afectando la disponibilidad de nutrientes del suelo y la productividad de las plantas, además de deteriorar el ambiente y disminuir la calidad de vida de las personas (Soka & Ritchie, 2014; Ruiz *et al.*, 2015). De acuerdo a Bringezu & colaboradores

¹⁵ Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

¹⁶ Investigadora Universidad Industrial de Santander

¹⁷ Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente

¹⁸ Docente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Correos electrónicos de contacto: sandra.pulido@unad.edu.co, silviaebarrera@uis.edu.co, juan.chirivi@unad.edu.co

(2014), hasta 849 millones de hectáreas de terrenos naturales hacia el año 2050 estarían en riesgo de degradarse si se continúa la tendencia de uso insostenible del suelo. La degradación implica la modificación y el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rodríguez & Camargo García, 2009) y la disminución de la capacidad de este ambiente en prestar bienes y servicios a las comunidades (FAO, 1996). Actualmente, el 33% de los suelos del planeta están degradados y las principales causas obedecen al crecimiento demográfico, industrialización y el cambio climático; lo que ha llevado a un proceso de deterioro acelerado y a la pérdida de millones de toneladas de capa arable anualmente ligados al agotamiento de nutrientes, pérdida de carbono orgánico, sellado del suelo y erosión (FAO, 2015).

La erosión es la mayor causa de degradación y pérdida de fertilidad del suelo, pues remueve la capa donde se concentra la materia orgánica y donde habitan los organismos asociados a la fijación y solubilización de nutrientes minerales (Li *et al.*, 2009). En Colombia, el 40% del territorio nacional presenta algún grado de degradación de suelos por erosión equivalente a 453.770 km² (45.377.070 ha); el 20% equivale a erosión ligera, 16,8% a moderada, y 2,9% a severa y muy severa (IDEAM, U.D.C.A., 2015b), y es por esto, que prevenir la erosión es un factor clave para evitar su degradación y su posterior desertificación.

Por otro lado, la fertilidad de los suelos colombianos es característicamente baja en términos de nutrición vegetal (Jaramillo J., 2004); el 85% de los suelos son ácidos, siendo el 57,6% de los suelos de un pH menor a cinco, el 98% muestra deficiencias en fósforo asimilable para las plantas y el 68,1% cuenta con bajo contenido de materia orgánica. Esto muestra que las técnicas de manejo del suelo están generando graves problemas de degradación (IGAC, 2016). Mientras que el 13,3% y el 19,3% de los suelos colombianos son aptos para la ganadería y la agricultura, respectivamente; el 30,5% están siendo usados para ganadería y tan sólo el 4,6% de los suelos aptos para la agricultura están siendo usados para tal fin (IGAC, 2016).

Aunque en la última década se ha reducido significativamente el riesgo de la erosión, estas tasas aún son muy altas en muchos terrenos agrícolas del mundo. Políticas y programas de estado son necesarios para promover el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles en estos terrenos donde aún el riesgo es alto (FAO & ITPS, 2015). En este sentido, se hace prioritario fomentar el apoyo a prácticas

que controlen la erosión, por ejemplo evitar la extracción excesiva de biomasa que como consecuencia conlleva a la pérdida de materia orgánica del suelo, incluir labranza de conservación, implementación de terrazas, uso de residuos orgánicos compostados, entre otras prácticas, que pueden disminuir la erosión y mejorar los rendimientos de los cultivos (Gordon & Enfors, 2008).

La FAO (2015) indica que de no tomar medidas para reducir la erosión, se prevé una disminución de producción de más de 253 millones de toneladas para el 2050, que es equivalente a eliminar 1,5 millones de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas y compromete la seguridad alimentaria de la humanidad, en adición a efectos del desequilibrio ambiental asociados a los procesos de la erosión del suelo. Por consiguiente, la prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo es un desafío global encaminado hacia la conservación de la vida en el planeta. El presente capítulo tiene como objetivo realizar una contextualización sobre este servicio ecosistémico de regulación, resaltando un estudio de caso del occidente colombiano.

9.2. Servicios ecosistémicos y funciones del suelo

En contextualización con la tipología de servicios ecosistémicos: abastecimiento, regulación, apoyo y culturales; un estudio realizado por (Adhikari & Hartemink, 2016), relacionó un gran número de publicaciones, entre los años 1975 y 2014, basados en propiedades físico-químicas del suelo con los servicios del ecosistema, que junto con la captación del carbono se agrupan principalmente en servicios de regulación.

El suelo es un ambiente vivo y heterogéneo, que resulta de la interacción de factores físicos, químicos, biológicos y ambientales, y está encargado de regular el funcionamiento de los ciclos del agua y biogeoquímicos, y de la biodiversidad (IDEAM, U.D.C.A., 2015a; Burbano-Orjuela, 2016). De este recurso no renovable, muchas personas desconocen por completo las funciones o servicios proporcionados por los suelos y los milenarios periodos de tiempo que demanda construir cada centímetro como resultado de una serie de mecanismos de retroalimentación y de poder retener muchas de sus características indefinidamente en el tiempo, como su grosor, contenido de carbono y nutrientes (Amundson *et al.*, 2015; Baveye *et al.*, 2016). Propiedades tales como el grosor del suelo, el almacenamiento de carbono orgánico y el contenido de nitrógeno, entre otras características, alcanzan

un estado estable en intervalos de algunos siglos a milenios y aunque parecen capaces de recuperar la estabilidad, la intervención humana en los procesos del suelo muchas veces excede las perturbaciones naturales, excediendo la resiliencia y recuperación a su condición original (de Vries *et al.*, 2012).

El 30% de la superficie continental del planeta ha transformado sabanas, praderas y bosques hacia actividades agrícolas, generando degradación ambiental generalizada y pérdida de diversidad biológica, que afecta al 23% del suelo mundial y, por consiguiente, deteriorando la prestación de los servicios del ecosistema (Adhikari & Hartemink, 2016). De acuerdo a Fitter & colaboradores (2005), el flujo de servicios ecosistémicos en el suelo depende del equilibrio de su diversidad biológica, donde la biota edáfica es pilar fundamental para la disponibilidad de nutrientes a partir de los ciclos biogeoquímicos y de las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos que ocurren en conjunto, consecuentemente, los suelos degradados e impactados en la composición de su biodiversidad acarrearán como consecuencia una alteración en sus funciones y prestación de servicios (Rojas *et al.*, 2014).

Estudios de las propiedades del suelo y sus funciones han sido ampliamente revisados, especialmente aquellas funciones que lo determinan en calidad de servicio ecosistémico. Varias características funcionales del suelo como la acumulación del carbono, la actividad microbiana, el ciclo de macro y micronutrientes y la capacidad de retener humedad se han estudiado en detalle (Barrios, 2007; Ghaley *et al.*, 2014; Adhikari & Hartemink, 2016). Actualmente, existe una gran demanda de información científica detallada sobre las funciones del suelo la cual sirve de insumo para la planificación de su uso (Baveye *et al.*, 2016). La FAO en el diagrama titulado "Los suelos ofrecen servicios ecosistémicos que permiten la vida en la tierra" (Figura 9.1) destaca once funciones del suelo, las cuales vale la pena entender y considerar como punto de partida para encaminar un proceso de concientización y acción hacia la prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo.

La multifuncionalidad de los suelos se ha convertido progresivamente en una característica clave en la formulación de políticas relacionadas con la planificación del uso del suelo (Schutle *et al.*, 2014), sin embargo, autores como Dominati (2013), indican que no se cuenta con información sobre una gama completa de servicios ecosistémicos superficiales y subterráneos, el valor total de la

conservación del suelo (inversión en infraestructura ecológica), o el costo total de la erosión (más allá de la pérdida de productividad); y es por lo cual se sugiere la necesidad de elucidar esta información que permita proyectar la toma de decisiones en el uso y manejo del recurso suelo.

Enfatizando en la erosión agrícola, esta es una de las perturbaciones humanas más destructivas para la sostenibilidad del suelo (Montgomery, 2007; Amundson *et al.*, 2015). Se ha encontrado que las tasas estimadas de erosión en tierras cultivables o de pastoreo intensivo son 100-1000 veces más altas que las tasas naturales de erosión. Estas tasas también son mucho más altas que las conocidas de formación de suelos (FAO & ITPS, 2015), que típicamente están muy por debajo de 1 tonelada ha^{-1} año^{-1} con valores cercanos a 0,15 toneladas ha^{-1} año^{-1} . La gran diferencia entre las tasas de erosión bajo la agricultura convencional y las tasas de formación del suelo, implica poca o nula sostenibilidad del recurso y que el mismo está sometido a un sistema esencialmente extractivo.



Figura 9.1. Funciones del suelo, versión adaptada.

Fuente: FAO (2015).

9.2.1. ¿Qué es la erosión del suelo y cuáles son sus efectos?

La erosión del suelo implica la descomposición, desprendimiento, transporte y redistribución de las partículas edáficas por fuerzas del agua, el viento o la gravedad (Bronick & Lal, 2005). La erosión inicia por el desprendimiento de las partículas primarias, que expone la tierra al movimiento lateral, a través de procesos físicos debidos a la lluvia, el viento o la excavación del suelo por meso y/o macrofauna. Durante esta fase, los agregados se rompen exponiendo la materia orgánica, que se había protegido físicamente dentro de los mismos, a la pérdida por descomposición y transporte en formas disueltas o particuladas. Durante la fase de transporte lateral de la erosión del suelo, se pueden romper más agregados y disolver los compuestos bioquímicos constituyentes (Berhe *et al.*, 2014).

Los agregados del suelo son partículas en forma de pequeños terrones que agrupan las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) uniéndolas y agrupándolas entre sí por fuerzas cohesivas y sustancias derivadas de exudados de raíces y de la actividad microbiana, estos agregados permiten la circulación del aire y el agua en el suelo (Figura 9.2). Cuando por diversas razones se pierde la agregación, los efectos se manifiestan en su capa arable, pobre o sin materia orgánica, afectando el movimiento del agua y la tenacidad de los suelos para retenerla, así como la retención de nutrientes, expansión de las raíces e intercambio gaseoso de O_2 y CO_2 con la atmósfera.

La conservación de la materia orgánica del suelo es la base para formar agregados más grandes y resistentes a la erosión por su efecto cementante, al tiempo que nutre la vida edáfica y contribuye de forma vital con su fertilidad. La fertilidad del suelo se ve favorecida por la productividad primaria y el reciclado de nutrientes (Martín-López *et al.*, 2012), así como la actividad microbiana del suelo, que es de vital importancia para el proceso de reciclado de nutrientes y cuya interacción con las plantas está estrechamente ligada, al ser considerados indicadores biológicos de la calidad del suelo (Saccá *et al.*, 2017). Por lo tanto, la conservación de la materia orgánica es vital para mantener un suelo bien agregado y más resistente a la erosión (erodabilidad) (Franzluebbers, 2002).

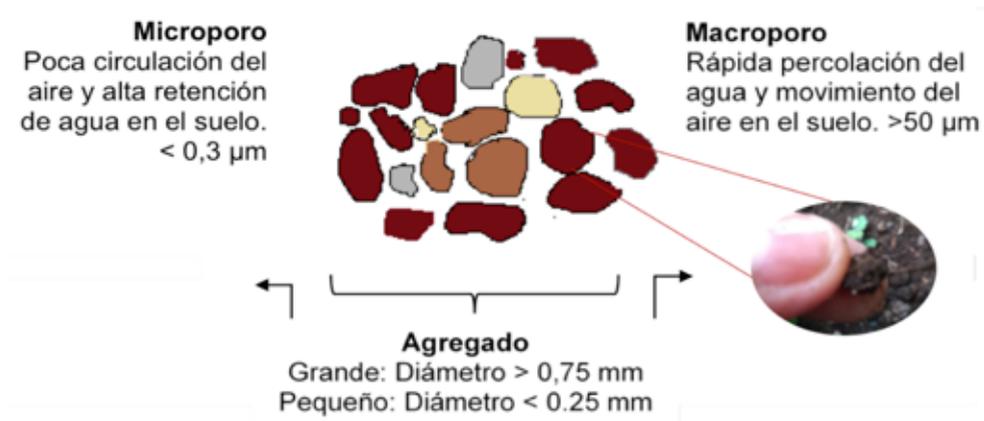


Figura 9.2. Agregado del suelo y tamaño de los poros donde los más grandes, son utilizados para la circulación del agua y el aire y la microporosidad corresponde al volumen de poros más finos, responsables del almacenamiento del agua.

9.2.2. ¿Cómo prevenir la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes?

La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación de la tierra que compromete la alimentación de todas las formas de vida en el planeta, luego, prevenirla y controlarla es un compromiso de conservación y reparación inaplazable para la humanidad. A pesar de la importancia de la conservación del suelo, la implementación de prácticas para minimizar su erosión y conservar la fertilidad del mismo, no ha sido acorde a la gravedad del problema, principalmente por la priorización de mayores rendimientos, anulando la implementación de técnicas recomendadas de conservación del suelo y el agua (Berhe *et al.*, 2014).

Las propiedades del suelo, la topografía, el clima, la genética de los cultivos y los avances en las prácticas agrícolas constituyen un complejo de factores que inciden directamente y de modo variable en la calidad del suelo, lo que dificulta severamente en la predicción de la pérdida de suelo y la redistribución por erosión sobre la productividad de los cultivos (Gruver, 2013; Kaniu & Angeyo, 2015). La erosión del suelo se ve acelerada por la tolerancia a agroquímicos y a la capacidad de auto-recuperarse (Li *et al.*, 2009). A continuación, se relacionan en la Tabla 9.1, algunas recomendaciones de conservación para evitar o remediar la erosión y conservar la fertilidad del suelo.

Tabla 9.1. Recomendaciones de conservación para evitar o remediar la erosión del suelo y conservar la fertilidad del mismo (Awale et al., 2017; USDA, 2018a).

1. Evitar cambios inadecuados de forma en el uso de la tierra, como la deforestación o conversión inadecuada de pastizales a tierras de cultivo que provocan la eliminación de la cobertura superficial y reducción de carbono en el suelo.



Figura 9.3. Diagnóstico del estado del suelo.

Fuente: MADS (2016).

2. Mantener una cubierta de plantas en crecimiento u otros residuos orgánicos e inorgánicos que protejan la superficie del suelo de la erosión mediante implementación de medidas apropiadas como *mulch*, labranza mínima, siembra directa, enfoques agroecológicos, tráfico controlado de vehículos, cobertura continua de plantas y rotación de cultivos, cultivos en franjas, agrosilvicultura, cinturones de protección, y niveles adecuados de carga e intensidad de pastoreo. El uso de coberturas vegetales y la rotación de cultivos protegen el suelo de la pérdida de nutrientes y le aportan materia orgánica (Dossman et al., 2009), que junto con procesos como la fijación de nitrógeno y la mineralización de la materia orgánica, mantienen la fertilidad del suelo (Farfán, 2014). La biofertilización se ha convertido en una herramienta clave y prometedora para propender la sostenibilidad de los suelos, pues a través del uso de bacterias, hongos, algas y consorcios microbianos ha sido posible incrementar la capacidad de fijar nitrógeno molecular, solubilizar el fósforo, retener agua y mantener las poblaciones de organismos plagas/patógenos controladas en suelos con diferentes grados de degradación o contaminación (Schütz et al., 2018).



Figura 9.4. Manejo de residuos de cultivos para mejorar la calidad del suelo.

Fuente: USDA (2018b).

3. La erosión por agua en terrenos inclinados y relativamente empinados debe reducirse al mínimo mediante medidas que reduzcan la velocidad y las tasas de escorrentía, como cultivos en franjas, siembra en contorno, rotación de cultivos, cultivos intercalados, agroforestales, barreras transversales (por ejemplo, franjas de césped, bordes de contornos y líneas de piedra), construcción y mantenimiento de terrazas, y canales de agua o bandas de protección vegetal.

4. Cuando corresponda, amortiguadores ribereños, bandas amortiguadoras, humedales, recolección de agua y se deben utilizar / instalar cultivos de cobertura para minimizar la exportación de partículas de suelo, nutrientes y contaminantes asociados del sistema de suelo y proteger las áreas aguas abajo de impactos perjudiciales. La erosión debida al viento, incluidas las tormentas de polvo, debe minimizarse y mitigarse a través de barreras eólicas vegetativas (árboles y arbustos) o artificiales (muros de piedra) para reducir la velocidad del viento.



Figura 9.5. Diagnóstico del estado del suelo.

Fuente: MADS (2016).

9.2.3. ¿Cómo calcular las tasas de erosión?

Los factores ambientales que controlan la erosión del suelo incluyen el tipo de roca, suelo, clima, topografía, vegetación y las actividades humanas (Sepuru & Dube, 2018). Las tasas de erosión del suelo varían ampliamente entre países y están influenciadas principalmente por la pendiente del suelo, las precipitaciones anuales y el enfoque de análisis (escala, métodos y periodos de estudio) (Ruiz *et al.*, 2015; Sepuru & Dube, 2018).

Se estima que la tasa de erosión del suelo en los sistemas agrícolas de cultivo intensivo son de magnitud mayor que las tasas naturales de erosión (Berhe *et al.*, 2014) y a su vez tasas de erosión de agricultura de conservación menores que la agricultura convencional con estimaciones promedio de $0,13 \pm 0,02 \text{ mm año}^{-1}$ y $3,94 \pm 0,321 \text{ mm año}^{-1}$, respectivamente (Montgomery, 2007).

La erosión hídrica es la forma más extendida de degradación del suelo a nivel mundial causando el 56% de degradación, seguida por la erosión eólica, degradación física y degradación química con 28%, 12% y 4%, respectivamente. La erosión hídrica acelerada degrada los suelos agrícolas de tres formas principales: pérdida de materia orgánica, disminución del suministro de nutrientes y deterioro de la función hidrológica (Gruver, 2013). El mecanismo más generalizado para estimar la erosión del suelo es a través de la erosión hídrica (Amundson *et al.*, 2015); sus tasas pueden ser estimadas midiendo la pérdida de masa del suelo durante un período de tiempo específico a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), con la que es posible predecir la pérdida anual promedio de suelo "A" por unidad de área. La ecuación es $A = R \times K \times L \times S \times C \times P$ y multiplica varios factores para llegar a la tasa de erosión anual. El factor R se basa en la lluvia y la escorrentía, mientras que K es el factor de erosión del suelo y depende del tipo de suelo; los factores L y S, generalmente se consideran juntos y son medidas de la longitud y la inclinación de una pendiente; el factor C, o el factor de manejo del cultivo, y el factor P, o factor de práctica de apoyo, sólo se aplican a tierras de cultivo o tierras que se manejan para conservar el suelo.

Aunque la USLE se derivó para medir la erosión de las tierras de cultivo, es globalmente aplicable, en forma modificada, a muchos tipos de problemas de erosión hídrica; algunas de las modificaciones incluyen mapas de isolíneas para el índice de erosionabilidad, procesos de heladas, diferentes procesos de cálculo, otros sub-factores y consideraciones de prácticas agrícolas, y cálculos para eventos particulares (Renard *et al.*, 2011; Blue, 2017).

9.3. Efecto de la erosión y la fertilidad del suelo en las comunidades humanas

Las propiedades del suelo y sus interacciones afectan los bienes y servicios que presta este ambiente, en gran medida por su uso y manejo (Adhikari & Hartemink, 2016). La prevención de la erosión y la conservación de la fertilidad del suelo, como servicios ecosistémicos prestados por el sistema del suelo y combinados con capital financiero y humano, generan grandes beneficios a las comunidades. La valoración ecológica, económica, social o cultural de este recurso (IDEAM, U.D.C.A., 2015a), debido a su oferta de bienes y servicios ecosistémicos, es vital para generar incentivos que permitan establecer sistemas de producción limpios y sostenibles. El número de personas que se benefician de la regulación de la erosión y la fertilidad del

suelo, es de un alto valor a reconocer, sin embargo, sólo se valoran estos servicios cuando el vínculo entre ecosistema-bienestar es explícitamente reconocido (Pérez & Marasas, 2013). Por ejemplo, un sistema agropecuario, gestionado sinérgicamente a través del mantenimiento ambiental de sus suelos y sus recursos hídricos, tiene menos posibilidades de causar problemas serios de erosión y garantiza la productividad, lo que promoverá sostenibilidad económica y simultáneamente tendrá una mejora en la seguridad y calidad alimentaria (Lemaire *et al.*, 2014).

La agricultura y la ganadería son actividades consideradas ambientalmente depredadoras que afectan las propiedades del suelo (Dossman *et al.*, 2009), razón por la cual, el uso excesivo de las mismas causa agotamiento de nutrientes (IDEAM, U.D.C.A., 2015b) y pérdida de materia orgánica (Otero *et al.*, 2011). A su vez, mientras que el residuo de origen animal y del leve pastoreo puede contribuir como fuente de nutrientes y ayudar a mantener la fertilidad del suelo en pastos y cultivos de interés agrícola, el ganado puede ocasionar erosión y degradación del suelo como resultado del pastoreo excesivo (Rakkar & Blanco-Canqui, 2018), requiriendo así de prácticas que incluyen rotación de cultivos, implementación de residuos de cosecha, aplicación de fertilizantes de origen biológico u orgánico y el uso de coberturas vegetales (Tabla 9.1), para preservar las funciones, calidad y consecuentemente los bienes y servicios que presta el suelo.

Suelos fértiles son indicadores de suelos poco erosionados que favorecen la regulación hídrica, por lo que supone una mejora en el suministro de otros servicios ecosistémicos (Martín-López *et al.*, 2012). Por otro lado, suelos erosionados son pobres en nutrientes debido a las pérdidas de las partículas de suelo, la materia orgánica y la lixiviación o el agotamiento de los nutrientes (Rodríguez *et al.*, 2009). Adicionalmente, los procesos de erosión del suelo causan un fuerte deterioro en la prestación de los servicios ecosistémicos que el suelo ofrece y en las comunidades que lo usan para sus actividades productivas (Dossman *et al.*, 2009), especialmente si el suelo va acompañado de características físicas, químicas y biológicas deficientes (Castro-Romero *et al.*, 2014; Saccá *et al.*, 2017).

9.4. Consideraciones finales

El sistema suelo ofrece diversos servicios ecosistémicos y sustenta diferentes procesos que mejoran la calidad de vida de las personas. Si bien es cierto que la funcionalidad del suelo es ampliamente aprovechada de forma antrópica, el suelo no es una

pertenencia de la humanidad y tampoco un sistema que brinda servicios inagotablemente. El suelo es un sistema que articula una red funcional para la vida, en la cual la humanidad, como todos los seres vivos tiene funciones para la sustentabilidad de este recurso vital. Por lo tanto, conservar el suelo, previniendo su degradación mediante el uso de prácticas de gestión que mantengan su estabilidad, buscando mejorar sus propiedades físico-químicas y estimulando la actividad de macro y microorganismos; podría minimizar su alteración y en consecuencia obtener beneficio de sus funciones y servicios sin la incertidumbre del agotamiento del recurso.

9.5. Estudio de caso

De acuerdo a la Información de los departamentos colombianos con los indicadores de magnitud y severidad de la erosión de los suelos, como porcentaje afectado de su área total el IDEAM - U.D.C.A (2015a) reportó que el 40% del territorio colombiano presenta algún grado de erosión y el 3% grados severos de erosión (Figura 9.6). Los departamentos con magnitud de erosión superior al 70% respecto a su área son: Atlántico, Boyacá, Caldas, César, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Quindío, Santander, Sucre y Tolima. Los departamentos más afectados por la severidad de la erosión, respecto a su área, son: Atlántico, Boyacá, Cesar, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Norte de Santander, Santander, Sucre, Tolima y Valle del Cauca.



Figura 9.6. Magnitud y severidad de la erosión en Colombia.

Fuente: IDEAM, U.D.C.A. (2015).

El Valle del Cauca hace parte del grupo de departamentos más afectados por la severidad de la erosión por lo tanto a continuación se hace referencia a una experiencia de recuperación de suelos degradados en este departamento, donde gestionó un proyecto para la recuperación de suelos en once municipios que anteriormente sustentaban diversos tipos de bosques, sin embargo, al ser utilizados para producción agrícola quedaron desprotegidos y susceptibles a procesos de erosión. El proyecto consistió en la implementación del uso de especies nativas, manejo y siembra de árboles frutales, uso eficiente del agua y la producción de abonos orgánicos. Allí, se intervinieron 689 ha destinadas a la producción agrícola y pecuaria con el propósito de garantizar la protección del suelo, como resultado se logró que 214 familias, de los once municipios, revitalizaran los suelos erosionados de sus fincas agropecuarias (Agenda de Noticias Universidad Nacional de Colombia, 2017).

9.6. Evaluación del capítulo

La caficultura orgánica es una forma de producir café de alta calidad, protegiendo los recursos naturales y con motivación de beneficios económicos; lo que hace que los caficultores orgánicos pueden obtener un mejor precio por su café (Kuepper *et al.*, 2005). Para obtener certificación orgánica, entre otros requerimientos de conservación es prioritario preservar la fertilidad natural de los suelos, reduciendo la erosión. "La certificación orgánica asegura la generación de un producto, bajo procesos acordes a estándares ecológicos y/o ambientales, desde el campo hasta el mercado" (CERES, 2018). En Colombia, los procesos de certificación están regulados por la resolución No. 00544 del 21 de diciembre de 1995. De acuerdo a lo anterior, usted como productor o asesor en la producción agrícola ¿Cómo proyectaría paso a paso la certificación de un cultivo orgánico a partir del uso y manejo de suelos? Tenga en cuenta el cultivo, localidad y todos los factores necesarios que le permitan realizar una acertada proyección.

Referencias

- Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services—A global review. *Geoderma*, 262, 101-111.
- Agencia de Noticias UN. (2017). Recuperan suelos erosionados del Valle del Cauca. Recuperado de: <http://www.palmira.unal.edu.co/index.php/noticias/unnoticias/297-recuperan-suelos-erosionados-del-valle-del-cauca>.
- Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E., & Sparks, D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348(6235), 1261071.

- Awale, R., Machado, S., Ghimire, R., & Bista, P. (2017). Soil Health. En G. Yourgey & C. Kruger (Eds). *Advances in Dryland Farming in the Inland Pacific Northwest* (pp.47-97). Washington, US: Washington State University.
- Barrios, E., (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64 (2), 269–285.
- Baveye, P.C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 41.
- Berhe, A.A., Arnold, C., Stacy, E., Lever, R., McCorkle, E. & Araya, S.N. (2014). Soil erosion controls on biogeochemical cycling of carbon and nitrogen. *Nature Education Knowledge* 5(8), 2.
- Blue, M.L. (2017). *How to Calculate Erosion Rate*. Recuperado de: <https://sciencing.com/calculate-erosion-rate-6118473.html>
- Brammer, H. & Nachtergaele, F.O. (2015). Implications of soil complexity for environmental monitoring. *International Journal of Environmental Studies*, 72(1), 56-73.
- Bringezu, S., Schütz, H., Pengue, W., O'brien, M., García, F., Sims, R., & Herrick, J. (2014). *Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124.
- Castro-Romero, M., Valdés-López, C., Barrera-Cataño, J.I. (2014). Prioridades de restauración ecológica del suelo y sus servicios ecosistémicos asociados, degradados por uso agropecuario en la microcuenca Santa Helena (Suesca-Cundinamarca). *Caldasia*, 36(1), 37:52.
- CERES. (2018). *Certificación Orgánica*. Certification Of Environmental Standards Colombia. Recuperado de <http://cerescolombia-cert.com/sector-de-servicios/certificacion-organica/>
- De Vries, F.T., Liiri, M.E., Bjørnlund, L., Bowker, M.A., Christensen, S., Setälä, H.M., & Bardgett, R.D. (2012). Land use alters the resistance and resilience of soil food webs to drought. *Nature climate change*, 2(4), 276.
- Dominati, E.J. (2013). *Natural capital and ecosystem services of soils. Ecosystem services in New Zealand—Conditions and trends*. Manaaki Whenua, New Zealand: Press Lincoln.
- Dossman, M.A., Arias-Giraldo, L.M. & Camargo, J.C. (2009). Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 58, 17-24.
- FAO. (1996). *Cumbre Mundial sobre la Alimentación*. 13 - 17 de Noviembre de 1996. Roma, Italia: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/X2051s/X2051s00.htm>
- FAO. (2015). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FAO & ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.

- Farfán V. F. (2014). Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Manizales, Caldas (Colombia): Cenicafé.
- Fitter, A.H., Gilligan, C.A., Hollingworth, K., Kleczkowski, A., Twyman, R.M., Pitchford, J.W., & Members of the NERC Soil Biodiversity Programme. (2005). Biodiversity and ecosystem function in soil. *Functional Ecology*, 19(3), 369-377
- Franzluebbers, A.J. (2002). Soil Organic Matter Stratification Ratio as an Indicator of Soil Quality. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 95-106.
- Ghaley, B.B., Porter, J.R. & Sandhu, H.S., (2014). Soil-based ecosystem services: a synthesis of nutrient cycling and carbon sequestration assessment methods. *International Journal of Biodiversity, Science. Ecosystem Services & Management*, 10(3), 177-186.
- Gordon, L.J. & Enfors, E. (2008). Land degradation, ecosystem services and resilience of small-holder farmers in Makanya catchment, Tanzania. In: D., Bossio, K., Geheb. (Eds). *Conserving land, protecting water* (pp 33-50). Wallingford, UK: CAB International.
- Gruver, J.B. (2013). Prediction, Prevention and Remediation of Soil Degradation by Water Erosion. *Nature Education Knowledge*, 4(12), 2.
- IDEAM, U.D.C.A. (2015a). *Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023648/Sintesis.pdf>
- IDEAM, U.D.C.A., (2015b). *Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por erosión*. Bogotá D.C., Colombia: Colombia: Instituto de Hidrología y Meteorología de Estudios Ambientales – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible- Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023647/Protocolo-erosion.pdf>
- IGAC. (2016). *30 prácticas que evitarían el deterioro del suelo, recurso natural del que pocos hablan*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado de: <http://noticias.igac.gov.co/30-practicas-que-evitarian-el-deterioro-del-suelo-recurso-natural-del-que-pocos-hablan/>.
- Jaramillo, D.F. (2004). *El recurso suelo y la competitividad del sector agrario Colombiano*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional.
- Kaniu, M.I., & Angeyo, K.H. (2015). Challenges in rapid soil quality assessment and opportunities presented by multivariate chemometric energy dispersive X-ray fluorescence and scattering spectroscopy. *Geoderma*, 241, 32-40.
- Kuepper, G.; Riddle, J.; Ford, J.; Bowman, C.; Moynihan, M. (2005). *Forms, Documents, and Sample Letters for Organic Producers*. The National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA). Recuperado de: www.attra.ncat.org
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., de Faccio Carvalho, P.C., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.
- Li, L., Du, S., Wu, L. & Liu, G. (2009). An overview of soil loss tolerance. *Catena* 78, 93- 99.
- Martín-López, B., González, J.A., Vilarly, S.P., Montes, C., García-Llorente, M., Palomo, I. & Aguado, M. (2012). Guía docente ciencias de la sostenibilidad. Universidad del Magdalena, Instituto Humboldt y Universidad Autónoma de Madrid.

- MADS. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá D.C., Colombia Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Montgomery, D.R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 13268–13272 doi:10.1073/pnas.0611508104.
- Otero, J.D. Figueroa, A., Muñoz, F.A. & Peña, M.R. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*, 37: 2035-2043.
- Pérez, M. & Marasas, M.E. (2013). Servicios de regulación y prácticas de manejo: aportes para una horticultura de base agroecológica. *Ecosistemas*, 22(1), 36-43.
- Rakkar, M. K., & Blanco-Canqui, H. (2018). Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 258, 71-90.
- Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T., & Dabney, S.M. (2011). Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation. En R.P. Morgan & M.A. Nearing (Eds). *Handbook of Erosion Modelling* (pp. 137-167). Chichester, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Rodríguez, J.A. & Camargo, J.C. (2009). Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente*, 58, 25-31.
- Rodríguez, J.A., Sepúlveda, I.C., Galvis, J.H. & Camargo, J.C. (2009). Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia. *Acta Agronómica*, 58(3), 160-166.
- Rojas, C., Bocanegra, J.L. & Mariño, J. (2014). Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la gestión del suelo-subsuelo. *Opera*, 14, 9-26.
- Ruiz, D.M., Martínez, J.P. & Figueroa, A. 2015. Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña. *Bioteología del Sector Agropecuario*, 13(1), 129-138.
- Saccá, M.L., Caracciolo, A.B., Di Lenola, M. & Grenni, P. (2017). Ecosystem services provided by soil microorganisms, Chapter 2. In: M., Lukac, P., Genni & M., Gamboni (Ed). *Soil biological communities in ecosystems resilience* (pp. 9-24). Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Schulte, R.P.O., Creamer, R.E., Donnellan, T., Farrelly, N., Fealy, R., O'Donoghue, C., & Oh'uallachain, D. (2014). Functional land management: a framework for managing soil-based ecosystem services for the sustainable intensification of agriculture. *Environmental Science & Policy*, 38, 45–58. doi: 10.1016/j.envsci.2013.10.002.
- Schütz, L., Gattinger, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., & Mathimaran, N. (2018). Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 1-13.
- Sepuru, T.K., & Dube, T. (2018). An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, 1-9.
- Soka, G. & Ritchie, M. (2014). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: Prospects for future research in tropical soils. *Open Journal of Ecology*, 4(1), 11-22.
- USDA. (2018). *Natural Resources Conservation Service. Land Use: cropland – Erosion*. United States Department of Agriculture. Recuperado de: https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/landuse/crops/erosion/?cid=nrcs143_023947
- USDA. (2018). *Soil Health Management*. United States Department of Agriculture. Recuperado de: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/mgmt/>