

Perspectiva de conservación del suelo en la Amazonía ecuatoriana

Maritza Sánchez Capa^{1,2}   Carlos Mestanza-Ramón^{1,2} 

Itaty Sánchez Capa³ 



Check for updates

1 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, El Coca EC220001, Ecuador

2 Gupo de Investigación YASUNI-SDC, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, El Coca EC220001, Ecuador

3 Universidad de Los Hemisferios, Quito EC170527, Ecuador.

✉ Correspondencia: maritza.sanchez@esPOCH.edu.ec ;  +593 990465379

Recibido: 21 julio 2020; **Aceptado:** 20 agosto 2020; **Publicado:** 21 agosto 2020

DOI/URL: <https://www.greenworldjournal.com/doi-022-gwj-2020>



Resumen: La conservación del suelo se refiere a la aplicación de tecnologías que previenen la degradación de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Este trabajo analizó y describió las principales tecnologías de conservación del suelo y las características generales de los suelos amazónicos ecuatorianos mediante una revisión documental para establecer recomendaciones sobre las tecnologías apropiadas para la conservación del suelo. Las tecnologías de conservación del suelo se clasifican en cuatro categorías: agronómicas, vegetativas, estructurales y de gestión. Las características del suelo se describieron en base a los paisajes presentes en la región: Relieve Subandino y Amazonía Periandina, donde los suelos identificados pertenecían a los órdenes: Andosoles, Inceptisoles, Oxisoles y Entisoles. La aplicación de tecnologías de conservación de gestión resultó la estrategia principal para garantizar la sostenibilidad del suelo de la región seguida por las tecnologías agronómicas, que destacan la aplicación de sistemas agrícolas integrados.

Palabras claves: Ecuador; tecnologías sostenibles; uso de la tierra; agricultura; ganadería; erosión

Perspective of soil conservation in the Ecuadorian Amazon

Abstract: Soil conservation refers to the application of technologies that prevent the degradation of the physical, chemical and microbiological characteristics of the soil. This paper analyzed and described the main soil conservation technologies and the general characteristics of Ecuadorian Amazonian soils through a documentary review to establish recommendations on appropriate technologies for soil conservation. Soil conservation technologies are classified into four categories: agronomic, vegetative, structural and management. Soil characteristics were described based on the landscapes present in the region: Sub-Andean relief and Peri-Andean Amazon, where the soils identified belonged to the orders: Andosols, Inceptisols, Oxisols and Entisols. The application of conservation management technologies was the main strategy to guarantee the sustainability of the region's soil, followed by agronomic technologies, which emphasize the application of integrated agricultural systems.

Keywords: Ecuador; sustainable technologies; land use; agriculture; livestock; erosion

1. Introducción

El suelo de nuestro planeta, junto con la atmósfera y los océanos, constituye lo que se conoce como biósfera [1-3]. Considerado uno de los principales sustratos de vida, es un componente natural complejo dividido en horizontes, su formación proviene de la destrucción de la roca y acumulación de materiales a lo largo de los años [2,3-5]. Sus principales componentes son el agua, aire, minerales, materia orgánica y organismos vivos, los cuales se combinan para soportar toda la vegetación en la Tierra. Sirve como medio para la filtración y descomposición de elementos nocivos y participa en el ciclo del carbono [4,6-8]. La composición física, química y biológica de los suelos influye en la estructura, textura y fertilidad del suelo, está relacionada con la presencia y cantidad de elementos minerales y sustancias inhibitorias del crecimiento de las plantas [5, 9-10]. Las características de los suelos determinan sus principales usos, es un error intentar clasificarlos como bueno o malos [6, 11]. Los efectos de degradación de suelos son numerosos, disminución de la fertilidad del suelo, elevación de acidez, salinidad, alcalinización, deterioro de la estructura del suelo, erosión eólica e hídrica acelerada, pérdida de la materia orgánica y de biodiversidad [12-14]. Los esfuerzos por reducir la degradación del suelo mediante tecnologías de conservación constituyen un aporte a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, entre ellos promover la agricultura sostenible y lograr la seguridad alimentaria (ODS 2), garantizar salud y bienestar, evitando la contaminación del suelo (ODS 3), garantizar agua limpia mediante el cuidando la calidad del suelo (OS6), adoptar medidas urgentes contra el cambio climático, entre las que se encuentra la restauración de los suelos degradados (ODS 13) y proteger la vida de ecosistemas terrestres a través de la lucha contra la desertificación, inversión de la degradación de la tierra y la detención de pérdida de biodiversidad (ODS 15) [15-18].

La cantidad suelo disponible para cultivo es escasa, su pequeña capa fértil debe ser usada cuidadosamente y aplicando medidas de conservación apropiadas [3]. En los últimos años el aumento de la densidad poblacional y la consecuente demanda de diversos productos que permitan satisfacer las necesidades humanas ha ocasionado cambios drásticos en el uso del suelo [19]. Tecnologías de manejo de suelo insostenible en actividades como la agricultura, silvicultura y pastoreo; expansión de zonas urbanas; industria; deforestación y el cambio climático; son impulsores que producen degradación al suelo como la erosión, compactación, pérdida de biodiversidad, contaminación, desequilibrio de nutrientes, acidificación, sellado, pérdida de carbono orgánico y salinización [19-22]. Las consecuencias de la degradación del suelo se ven reflejadas en una disminución de servicios ecosistémicos, inseguridad alimentaria y nutricional, escases de agua, pobreza e inseguridad social, migración e incremento al cambio climático [9].

La conservación del suelo hace referencia a la aplicación de tecnologías que contribuyen a prevenir la degradación de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, permitiendo mantener su capacidad productiva [23,24]. El uso apropiado de una tecnología en actividades antrópicas disminuye los impactos y mantiene o aumenta la fertilidad del suelo, mejorando su rendimiento. Desde la antigüedad los suelos han sido considerados como soporte para actividades como la agronomía y ganadería, los esfuerzos de manejo han sido direccionados para incrementar su funcionalidad y fertilidad. Si bien muchas tecnologías fueron exitosas en aumentar la producción primaria, algunas tecnologías afectaron negativamente funciones del suelo. En la actualidad existen tecnologías sencillas y de bajo costo para la conservación del suelo que se centran en aumentar la cobertura vegetal, uso de abono orgánico, labranza mínima, sistemas agroforestales, técnicas de siembra, barreras vivas,

entre otros [25,26]. Existen otras tecnologías de conservación como las zanjas y terrazas para prevenir la degradación del suelo, pero son de costo más elevado y requieren condiciones especiales para su construcción [27].

El estudio se llevó a cabo sobre la base de una revisión bibliográfica de documentos (Libros, artículos científicos, tesis, manuales y folletos), que permitieron analizar y describir las principales tecnologías de conservación del suelo a nivel mundial. Por otra parte, se caracterizó de forma general los suelos amazónicos y sus principales usos. Finalmente, se concluye con una recomendación sobre las tecnologías apropiadas para la conservación del suelo en la Amazonía ecuatoriana.

2. Tecnologías de conservación de suelo

En 1991, GLASOD (Global Assessment of Human-induced Soil Degradation) estimó que el 55,6 % del suelo sufría degradación a causa de la erosión hídrica. En 1992, de manera simultánea, se crearon la Convención de la Naciones Unidas para el Combate de la Desertificación y la red WOCAT (The World Overview of Conservation Approaches and Technologies), esta última con el objetivo de documentar y difundir las medidas de conservación y sistemas de manejo orientados a la producción sostenible, mediante el desarrollo de herramientas para el seguimiento y evaluación de los esfuerzos para la conservación de tierras y aguas a nivel mundial [28]. La estrategia 2015-2018 de la red WOCAT se enfocó en prevenir y reducir la degradación de la tierra mediante tecnologías de conservación del suelo y el agua. Las tecnologías que se propuso se clasifican en agronómicas, vegetativas, estructurales y de gestión (Tabla 1) [28]. En 2017, los Voluntarios para la Gestión Sostenible del Suelo (VGSSM) presentaron diez directrices para la gestión sostenible del suelo: minimizar la erosión del suelo, aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, fomentar el equilibrio y los ciclos de nutrientes del suelo, prevenir, reducir al mínimo y mitigar la salinización y alcalinización del suelo, prevenir y reducir al mínimo la contaminación del suelo, prevenir y reducir al mínimo la acidificación del suelo, preservar y mejorar la biodiversidad del suelo, minimizar el sellado del suelo, prevenir y mitigar la compactación del suelo y mejorar la gestión del agua del suelo [29]. En 2019, la FAO, después de casi un siglo de investigaciones indica que la erosión del suelo causada por el agua, el viento y la labranza sigue siendo la mayor amenaza para el suelo y sus servicios ecosistémicos en muchas regiones del mundo y a su vez establece como principales medidas de control a la reducción de labranza o labranza cero, mantillo o coberturas vegetales y los atrapamientos de sedimentos y las terrazas [30,31].

Tabla 1. Tecnologías para la conservación del suelo [32].

Tipo	Subcategorías de técnicas sustentables
Agronómicas	Cobertura del suelo
	Uso de materia orgánica/ fertilidad del suelo
	Tratamiento de la superficie del suelo
	Tratamiento del subsuelo
	Gestión de semillas, variedades mejoradas
Vegetativas	Cubierta de árboles y arbustos
	Uso de hierbas y plantas herbáceas perennes
	Limpieza de rastrojo
	Sustitución o eliminación de especies exóticas o invasoras

Estructurales	Terrazas
	Caballones, bancos
	Zanjas graduadas, canales, vías fluviales
	Nivelar zanjas, fosos
	Presas, sartenes, estanques
	Muros, barreras, empalizadas, vallas
	Recolección de agua/ suministro/ equipo de irrigación
	Estructuras de saneamiento y aguas residuales
	Refugios para plantas y animales
	Medidas de ahorro de energía
Gestión	Cambio de tipo de uso de la tierra
	Cambio de gestión/ nivel de intensidad
	Acuerdos con el entorno natural y humano
	Cambio importante en el calendario de actividades
	Control/cambio de la composición de las especies
	Gestión de desechos (reciclaje, reutilización o reducción)

Una de las tecnologías agronómicas de conservación más usada y difundida es la labranza reducida, labranza cero o labranza de conservación, dependiendo del grado de perturbación mecánica y de los residuos que queden. La labranza reducida consiste en la retención de residuos en la superficie. Sin embargo, frente a la escorrentía en suelos arcillosos (> 33 por ciento) no ha mostrado efectos significativos de conservación. La labranza reducida disminuyó los rendimientos de los cultivos en mayor proporción en latitudes tropicales que en zonas templadas. Los beneficios de esta tecnología en la zona templada constituyen la reducción de escorrentía a costa de una reducción temporal en rendimiento, mientras que las regiones subtropicales es una tecnología que no proporciona beneficios significativos. Las reducciones del rendimiento debidas a la siembra directa pueden reducirse con un manejo de nutrientes con especial atención en la fertilización con N inorgánico [29]. Otra de las tecnologías agronómicas más usadas ha sido el mantillo que constituye un material distinto del suelo o la vegetación viva que cumple la función de una cubierta protectora permanente o semipermanente sobre la superficie del suelo, es una opción utilizada en zonas afectadas por incendios, pastizales y zonas antrópicas, así como en entornos agrícolas, entre los beneficios de esta tecnología se encuentran la disminución de la pérdida de suelo y/o la tasa de erosión, el volumen pero sobre todo se destaca por su aporte en las reducciones de sedimentos blandos y el control de la escorrentía[30][28]. Tecnologías estructurales y vegetativas como las terrazas y franjas de hierbas o barreras de árboles respectivamente permiten el atrapamiento de sedimentos debido a que rompen la pendiente continua en una serie de pasos horizontales, por ejemplo, en la producción de arroz se reduce las tasas de erosión a tasas casi geológicas. Sin embargo, existe el abandono de estas estructuras debido a fallos en su diseño por falta de conocimiento. La inversión en esta tecnología es poco probable para el futuro [31] [30].

Las Medidas agronómicas son temporales y se ajustaran al tipo de cultivo o uso del suelo, no producen cambios en el perfil del suelo y son independientes de la pendiente. Algunos ejemplos son la asociación y rotación de cultivos, uso de compost, abono verde, estiércol, mantillo, labranza reducida, des compactación del subsuelo, producción de semillas y

variedades mejoradas. Las Medidas vegetativas son tecnologías permanentes, incluyen el uso de herbáceas, arbustos o árboles perennes, su principal función es cubrir contornos para mitigar la acción del viento y agua, consideran la pendiente del terreno. Algunos ejemplos son la implementación de sistemas agroforestales, forestación, cercas vivas, franjas vegetativas, limpieza de rastrojo en zonas propensas a generación de incendios, inserción de flora nativa y eliminación de la invasiva. Las Medidas estructurales son tecnologías permanentes que requieren de inversiones considerables para mano de obra y materiales de construcción, pueden modificar el perfil del suelo y generalmente son aplicadas en los contornos. La función principal es el control de escorrentía, la erosión eólica y la recolección de agua lluvia. Algunos ejemplos son las terrazas, la nivelación del terreno, implementación de límites de piedra o tierra, canales de desagüe, presas, recolección de agua en los techos, fosas sépticas, invernaderos, fuentes de energía renovable, computeras. Las medidas de gestión son aquellas que conllevan un cambio sustancial en el uso del suelo, generalmente se refieren a la reducción de uso del suelo. Algunos ejemplos es la protección de áreas naturales mediante la legislación, cambios de pastoreo extensivo a semi-estabulación, producción en invernaderos, distribución de las fuentes de agua, gestión de desechos [33, 32]

3. Suelos en la Amazonía ecuatoriana

El territorio de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) corresponde a una superficie próxima a la mitad del territorio nacional continental, sin embargo únicamente representa el 1,5% de la macro-cuenca del río Amazonas [34]. Los suelos predominantes de esta región, según la clasificación de Soil Taxonomy 1975, pertenecen a los órdenes Andisoles, Inceptisoles, Entisoles y Oxisoles [35, 36]. En la RAE se identifican dos paisajes, el Relieve Subandino y la Amazonía Periandina. El Relieve Subandino se caracteriza por tener laderas empinadas desde los 3000 a los 600m y se localiza en el flanco este de los Andes, mientras que la Amazonía Periandina tiene pendientes por debajo de 600 m.s.n.m y se caracteriza por tener humedad permanente, dentro de estos paisajes existen variaciones que se indican en la Figura 1 [37].

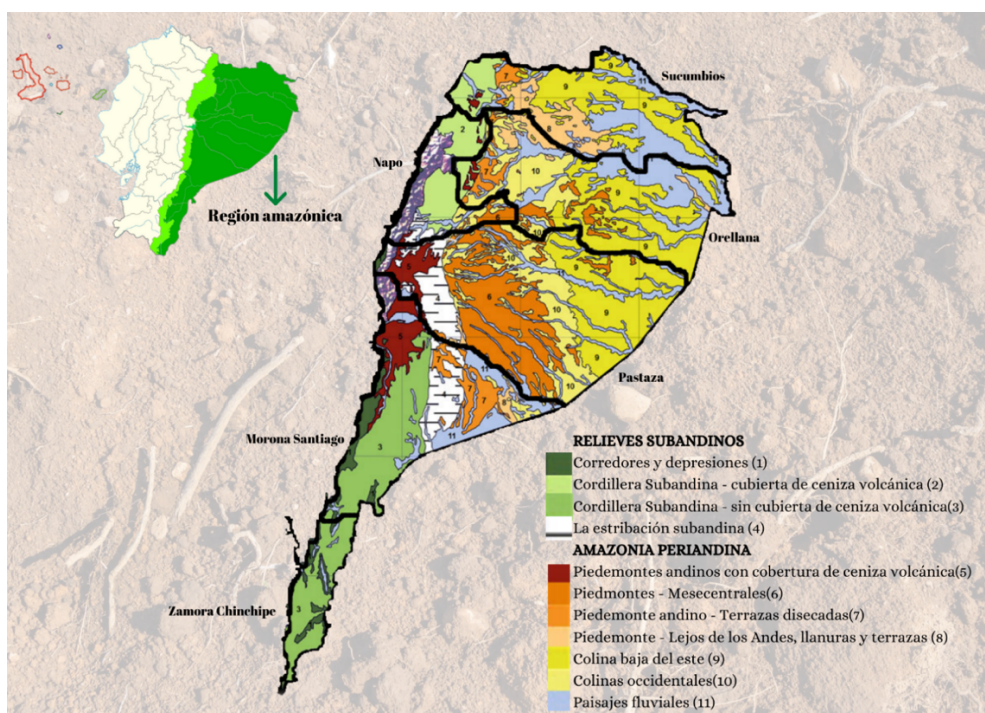


Figura 1. Paisajes de la Región Amazónica Ecuatoriana [37, 38]

El relieve subandino posee corredores, cordillera Subandina y las estribaciones. El corredor de Cosanga y Macas-Mendez se distingue por la presencia de cenizas volcánicas y suelos del orden Andisol. El corredor Limón - Gualaquiza no tiene presencia de cenizas volcánicas y el orden de suelo predominante es el Inceptisol, tiene un pH ácido y una saturación de bases <50%, con horizontes superficiales negros, mientras que los más profundos son amarillos a rojizos. La textura del horizonte superficial va de arcillosa a arcilla limosa en el horizonte subyacente (Bw) y la estructura predominantes es de bloques subangulares a angulares. En la cordillera Subandina se distinguen la elevación de Napo y la de Cutucú. La elevación de Napo que tiene cobertura de ceniza volcánica, temperaturas media anuales entre 17 y 24 °C, precipitación de 4000 a 7000 mm. con denso bosque tropical, con suelos del orden Andisol hidratados, con arcillas amorfas y humus, saturación de base <50%, con densidad aparente baja (0,2-0,4 g/cm³) y abundante material orgánica (>10%). La reacción al NaF es muy fuerte en todo el perfil [35]. La elevación de Cutucú, al sur, sin cobertura de ceniza volcánica se encuentra entre 2500 y 500 m s.n.m., con temperaturas anuales están entre 13 y 21 °C y precipitaciones de 2000 mm, está cubierta por arbustos, selvas tropicales o bosques húmedos tropicales, que se reducen por tala y quema, también existe la plantación de cultivos anuales (como el maíz) y la expansión de pastizales. Los perfiles de suelo son poco profundos, a menudo <10 cm, generalmente con la presencia de roca a 50 cm de profundidad, formando las siguientes secuencias de perfiles: A/C/R o A/R. El color del horizonte de la superficie es marrón amarillento oscuro a marrón amarillento, con una textura arcillosa. La estribación Subandina es una zona de transición con temperatura media entre 21 a 24 °C, con precipitación media anual aproximada de 3000 mm [37,38], altitudes alrededor de los 1.000 m.s.n.m en el norte, hasta 500 metros al sur. Son suelos tropicales de textura arcillosa en donde predomina el color rojo y el amarillo que corresponden a compuestos de Fe en estado de oxidación, bien drenados. Debido a la alta la precipitación, la saturación de la base del suelo es baja (<35%) al igual que el pH lo que provoca un contenido tóxico de Al. Son suelos en los que no se recomienda el desarrollo de la agricultura y ganadería [39]

La Amazonía Periandinos tienen pendientes debajo de los 600m.s.n.m y en ellos se puede distinguir piedemontes, colinas periandinas y paisajes fluviales. Los piedemontes cubiertos de ceniza volcánica se extiende sobre Puyo, Palora y Macas, tienen depósitos de ceniza volcánica de la los volcanes Tungurahua y Sangay [37]. La temperatura media anual es 20 °C y una precipitación media aproximada de 5000 mm. El perfil modal de este tipo de suelos presenta horizonte con secuencia: Ap/AB/Bw, tienen buena estructura, baja densidad aparente (<0,8 g cm⁻³), buenas condiciones de drenaje, son ácidos (pH 5,9), con alto contenido de materia orgánica (3,2%), CIC de 5 a 10 cmol kg⁻¹ y baja saturación de base (<35%), condiciones que no son favorables para retener los cationes esenciales para la planta nutrición [40]. Los Piamonteses sobre material detrítico sin cubierta de ceniza se encuentran entre 900 a 300 m.s.n.m., están asociados con temperaturas medias anuales >22 °C, precipitaciones anuales cercanas a los 4500 mm en años normales [37]. La cubierta vegetal predominante son los pastizales, seguida de palma aceitera, palmito y cacao [34]. La mayoría de los perfiles de suelo descritos en estas zonas siguen la secuencia del horizonte: Ap/Bw1/Bw2. Estos son suelos profundos, moderadamente drenados, con baja saturación de bases (<35%) y baja CIC (5-10 cmol kg⁻¹), con contenido de materia orgánica medio a bajo con acidez de leve a una severa, lo que promueve la toxicidad de Al. En zonas muy húmedas se promueve la alta lixiviación del Si y otros cationes como Na⁺, K⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺ [35]. Las colinas periandinas sobre areniscas, conglomerados y arcillas, son paisajes donde la temperatura media anual es >23 °C, con precipitaciones que van desde 2500 hasta 4500 mm.

En este paisaje se distinguen suelos arcillosos, de color rojos ligeros y compactos con horizontes poco diferenciados, con contenido alto de Al. Es posible también encontrar suelos profundos de color rojo oscuro, drenados, con alto contenido de arcilla que consiste en caolinita, algo de gibbíta, cuarzo y óxidos. Son suelos de baja fertilidad con bajo potencial agrícola. Los paisajes fluviales tienen suelos con niveles freáticos a pocos centímetros bajo la superficie, con pH moderadamente ácido (5,5), con CIC <10 cmol kg⁻¹ y la saturación de bases <35%. Debido a las malas condiciones de drenaje, estos suelos requieren grandes inversiones en obras civiles para eliminar el exceso de agua, y necesitan grandes cantidades de enmiendas orgánicas y minerales para ser utilizados con fines agrícolas, por lo que no son rentables para la agricultura [35]. Estos paisajes deben ser preservados sin intervención humana para mantener la estabilidad de uno de los más ambientes más biodiversos del mundo [40].

El suelo en la RAE en su mayoría está ocupado por bosque nativo, que pertenece a territorio de áreas naturales protegidas, entre las que se destacan los Parques Nacionales Yasuní, Sumaco Napo Galeras, Cayambe Coca, Sangay, Podocarpus, la Reserva de vida salvaje Cuyabeno, Reserva biológica Cerro Plateado, Cóndor, Quimi y el refugio de vida salvaje Zarza [41]. El suelo con cobertura agropecuaria está predominado por pastizales. Al norte de la RAE, en las provincias de Orellana y Sucumbios existen zonas de producción de palma africana al igual que la presencia de frutales y en menor cantidad se encuentran cultivos de café, raíces y tubérculos [42]. Los patrones de uso del suelo en la Amazonía ecuatoriana obedecen a la secuencia de la accesibilidad para la extracción y transporte del petróleo en el noroccidente lo que ha dado lugar a la explotación forestal y producción agropecuaria no sostenible. En el Centro y Sur de la región la ampliación de frentes de "minería a gran escala" en las provincias de Morona y Zamora y la expansión de fronteras en la selva alta (Napo, Pastaza y Zamora) constituyen otra amenaza [34].

4. Tecnologías de conservación de suelo para la Amazonia ecuatoriana

La Región Amazónica Ecuatoriana al conformar el 1,8% del bioma Amazonía y tener el uso del suelo en su mayoría como bosque nativo constituye un escenario donde las mejores tecnologías de conservación de suelo serán las de gestión, que promuevan la conservación de áreas protegidas, puesto que constituyen el mecanismo más eficiente para conservar los ecosistemas de la Amazonía, puesto que, actualmente la Amazonía se enfrenta a las amenazas de un desarrollo económico insostenible. Esto se evidencia en la búsqueda de tierras, fuentes de energía y minerales, con deforestación a causa de la agroindustria y el desarrollo de infraestructura [43]. Además, se ha identificado que es necesario la ampliación de la red de conservación in situ a través de la creación de nuevas áreas protegidas que salvaguarden los ecosistemas únicos. La gestión acertada de esta tecnología en Ecuador se llevaría a cabo mediante el Sistema Nacional de Áreas Protegidas debido a su eficacia y fortaleza institucional [41].

Otras tecnologías de conservación registradas en la Región Amazónica Ecuatoriana son vegetativas como la reforestación, agronómicas como evitar la quema de matorrales, manejo integral agrosilvopastoril, regeneración de horizontes orgánicos, reciclaje de nutrientes, promoción de sistemas de chacras indígenas, y estructurales como elaboración de zanjas drenaje [36]. Sin embargo, debido a las altas precipitaciones en la región las tecnologías de conservación deben estar orientadas a evitar la pérdida de suelo por erosión hídrica, por lo que aplicar únicamente tecnologías estructurales podría ser contraproducente dado que habría lugar al anegamiento lo que influye negativamente en la etapa de crecimiento de los cultivos. Sin embargo, el uso de tecnologías agronómicas como la cobertura del suelo con

mantillo evita el impacto de las gotas de lluvia en la superficie, reduciendo la pérdida de suelo durante las temporadas de lluvias [33].

El suelo con cobertura agropecuaria al estar predominado por pastizales y localizado en su mayoría en el paisaje de Amazonía Periandina, que se caracteriza por tener suelos ácidos, con saturación de sales <35%, de texturas arcillosas y en los que existe precipitación altas mayores a 2500 mm se requiere la combinación de tecnologías de conservación estructurales y agronómicas, puesto que permitirán mejorar la alimentación animal y compensar la pérdida de rendimiento de los cultivos debido a la ocupación de estructuras, principalmente canales de drenaje, adicionalmente se potenciaría la conversión alimenticia de los animales porque permitiría a los productores plantearse sistemas de manejo de semiestabulación en lugar de pastoreo tradicional al aire libre, que pueden ser perjudiciales para la estructura del suelo lo que lleva a la erosión del suelo, la escorrentía de sedimentos y la contaminación de los cuerpos de agua debido a la escorrentía de nutrientes, a su vez es recomendable franjas de amortiguamiento y zonas ribereñas en el borde de los campos para interceptar el movimiento del agua, reduciendo así las pérdidas de sedimentos y nutrientes de los pastizales [44, 45]

El paisaje de Relieve Subandino se encuentra en su mayoría conformando parte de áreas protegidas, mientras que, la actividad agropecuaria de la región se desarrolla en el paisaje de la Amazonía Periandina, que se caracteriza por tener suelos frágiles, no aptos para la agricultura, pertenecientes a los ordenes Andisoles, Inceptisoles. Consecuentemente en este tipo de suelos la combinación de tecnologías de conservación estructurales como drenajes y agronómicas como los sistemas agrícolas integrados y la gestión integrada de fertilidad serían ideales, sin embargo la implementación de tecnologías estructurales demanda de inversiones que los agricultores no están en condiciones de realizarlas o al no conocer con certeza sus resultados no están dispuestos a hacerlo. En tanto, la incorporación de sistemas agrícolas constituye la alternativa para el suelo en donde se desarrolla actividades agropecuarias puesto que son una estrategia de producción que combina actividades agrícolas, ganaderas y forestales en la misma zona. Los sistemas agrícolas integrados incluyen los sistemas agropastoriles (cultivo-ganadería), silvoarable (cultivo-silvicultura), silvopastoril (ganadería-silvicultura y agrosilvopastoril (cultivo-ganadería-silvicultura) [31].

Los sistemas agrícolas integrados evitan la alteración mecánica del suelo promoviendo la calidad física del suelo, generan insumos continuos de biomasa para asegurar la acumulación de carbono orgánico del suelo, proporcionan cobertura constante del suelo para combatir la erosión y la reposición de nutrientes del suelo para mantener el equilibrio de nutrientes, aumentan el suministro de leña, forrajes y alimentos al introducir heterogeneidad de vegetación dentro de la finca, que a su vez es un importante impulsor de la comunidad microbiana del suelo frente a los cambios ambientales, constituyéndose así en un medio para aumentar la sostenibilidad de los agroecosistemas tropicales [31, 46].

5. Conclusión

Existen soluciones para la gestión sostenible de los suelos, para ello es necesario centrar esfuerzos en una gobernanza inclusiva del suelo e incrementar la inversión en la gestión sostenible de los suelos, soluciones que deben ser gestionadas por los gobiernos a diferentes escalas. Por otra parte, las acciones gubernamentales deben estar acompañadas con una promoción, sensibilización y establecer sistemas de información sobre la importancia y los servicios que provee el suelo, procesos que las instituciones educativas en sus distintos niveles deben empoderarse. Con estas acciones se logrará desarrollar capacidades y el

fortalecimiento del cuidado sobre los suelos, permitiendo detener la degradación del suelo e impulsar procesos de restauración y rehabilitación. La implementación de una planificación sobre el uso de la tierra, un correcto tratamiento de aguas residuales, gestión residuos, reducción de la erosión, labranza mínima, uso correcto de nutrientes y fertilizantes, evitar el suelo descubierto, incremento de la materia orgánica y un constante análisis y evaluación sobre las condiciones del suelo, son acciones que contribuyen a la sostenibilidad de los suelos.

Las tecnologías de conservación de suelo con mayor uso son las agronómicas como la labranza reducida y las coberturas del suelo. Las estructurales tienen una tendencia de abandono debido a que demandan de inversiones considerables para el mantenimiento o en ocasiones debido a que se han degradado a consecuencia de un errado diseño inicial. Las tecnologías vegetativas suelen estar incluidas al aplicar sistemas agrícolas integrados que se encuentran categorizados como tecnologías agronómicas. En Ecuador las tecnologías de gestión están lideradas por el Ministerio de Agricultura y Ambiente, este último a través del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

La aplicación de tecnologías de gestión dentro de la subcategoría acuerdos con el entorno natural y humano, materializadas en un sistema de conservación de áreas naturales constituye la mejor estrategia para preservar la biodiversidad de ecosistemas sensibles como la Amazonía. Seguido se encuentran las tecnologías agronómicas a través de los sistemas agrícolas integrados que otorgan la holgura de combinar acciones que fortalecen la características físicas, químicas y biológicas del suelo y a su vez generan recursos diversos para los productores.

Contribución de autores: Idea, trabajo de campo, tabulación (M.S.C. y C.M-R.); Financiamiento, trabajo de campo, redacción (M.S.C. y I.S.C.); Revisión, redacción, idea, metodología (I.S.C. y M.S.C.).

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Dane, J.H.; Topp, C.G. *Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods*; John Wiley & Sons, 2020; Vol. 20; ISBN 089118841X.
2. Machado, J.; Villegas-Palacio, C.; Loaiza, J.C.; Castañeda, D.A. Soil natural capital vulnerability to environmental change. A regional scale approach for tropical soils in the Colombian Andes. *Ecol. Indic.* 2019, 96, 116–126.
3. Enters, T. *Incentives for soil conservation*; CRC Press, 2019; Vol. 1;.
4. Rath, K.M.; Fierer, N.; Murphy, D. V; Rousk, J. Linking bacterial community composition to soil salinity along environmental gradients. *ISME J.* 2019, 13, 836–846.
5. Van Den Hoogen, J.; Geisen, S.; Routh, D.; Ferris, H.; Traunspurger, W.; Wardle, D.A.; De Goede, R.G.M.; Adams, B.J.; Ahmad, W.; Andriuzzi, W.S. Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. *Nature* 2019, 572, 194–198.
6. Novák, V.; Hlaváčiková, H. Soil as a part of the soil–plant–atmosphere continuum (SPAC). In *Theory and Applications of Transport in Porous Media*; Springer International Publishing, 2019; Vol. 32, pp. 1–13.
7. Kishchuk, B.; Lorente, M.; Johnston, M. Chapter 18 – Environmental policy and forest soil conservation: Canada's experience to date. In *Global Change and Forest Soils*; Busse, M., Giardina, C.P., Morris, D.M., Page-Dumroese, D.S.B.T.-D. in S.S., Eds.; Elsevier, 2019; Vol. 36, pp. 455–472 ISBN 0166-2481.

8. Li, Z.; Cheng, X.; Han, H. Future Impacts of Land Use Change on Ecosystem Services under Different Scenarios in the Ecological Conservation Area, Beijing, China. *For.* 2020, 11.
9. Frouz, J. Chapter 1 – Soil biodiversity conservation for mitigating climate change. In; Prasad, M.N.V., Pietrzykowski, M.B.T.-C.C. and S.I., Eds.; Elsevier, 2020; pp. 1–19 ISBN 978-0-12-818032-7.
10. Oladimeji, T.E.; Oyinbo, O.; Hassan, A.A.; Yusuf, O. Understanding the Interdependence and Temporal Dynamics of Smallholders' Adoption of Soil Conservation Practices: Evidence from Nigeria. *Sustain.* 2020, 12.
11. Powers, R.P.; Jetz, W. Global habitat loss and extinction risk of terrestrial vertebrates under future land-use-change scenarios. *Nat. Clim. Chang.* 2019, 9, 323–329.
12. El Bouanani, L.; Baba, K. Soil Conservation on Slopes Subject to Water Erosion: The Application of the Concrete Lozenges Channels Technique for Slope Stability BT – Recent Technologies in Sustainable Materials Engineering.; Shehata, M., Anastasopoulos, G., Norma, M., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp. 30–42.
13. Yang, X.; Ali, A. Chapter 9 – Biochar for Soil Water Conservation and Salinization Control in Arid Desert Regions. In; Ok, Y.S., Tsang, D.C.W., Bolan, N., Novak, J.M.B.T.-B. from B. and W., Eds.; Elsevier, 2019; pp. 161–168 ISBN 978-0-12-811729-3.
14. Panagos, P.; Ballabio, C.; Poesen, J.; Lugato, E.; Scarpa, S.; Montanarella, L.; Borrelli, P. A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. *Remote Sens.* 2020, 12.
15. Al-Kaisi, M.M.; Lal, R. Chapter 4 – Conservation Agriculture Systems to Mitigate Climate Variability Effects on Soil Health. In; Al-Kaisi, M.M., Lowery, B.B.T.-S.H. and I. of A., Eds.; Academic Press, 2017; pp. 79–107 ISBN 978-0-12-805317-1.
16. Nilsson, M.; Griggs, D.; Visbeck, M. Policy: map the interactions between Sustainable Development Goals. *Nature* 2016, 534, 320–322.
17. Hambrey, J. The 2030 Agenda and the sustainable development goals: the challenge for aquaculture development and management. *FAO Fish. Aquac. Circ.* 2017.
18. Hrabalikova, M.; Finger, D.C.; Kobzova, D.; Huislova, P.; Ures, J. The Challenge in Increasing Water and Soil Resources Resilience by Landscape Restoration: Examples from Southern Ethiopia and Iceland. *Proc.* 2019, 30.
19. Dadashpoor, H.; Azizi, P.; Moghadasi, M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Sci. Total Environ.* 2019, 655, 707–719.
20. Wiesmeier, M.; Urbanski, L.; Hobbey, E.; Lang, B.; von Lütow, M.; Marin-Spiotta, E.; van Wesemael, B.; Rabot, E.; Ließ, M.; Garcia-Franco, N. Soil organic carbon storage as a key function of soils—A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 2019, 333, 149–162.
21. Lefèvre, C.; Rekik, F.; Alcantara, V.; Wiese, L. Soil organic carbon: the hidden potential.; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017; ISBN 9251096813.
22. Schulze, E.-D.; Beck, E.; Buchmann, N.; Clemens, S.; Müller-Hohenstein, K.; Scherer-Lorenzen, M. Biodiversity BT – Plant Ecology. In; Schulze, E.-D., Beck, E., Buchmann, N., Clemens, S., Müller-Hohenstein, K., Scherer-Lorenzen, M., Eds.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2019; pp. 743–823 ISBN 978-3-662-56233-8.
23. Ahmed, A.I.A.; Eldoma, I.M.; Elaagip, E.E.A.H.; Hou, F. Effects of Indigenous Cultivation Practices on Soil Conservation in the Hilly Semiarid Areas of Western Sudan. *Water* 2020,

- 12.
24. Hillel, D.; Rosenzweig, C.B.T.-A. in A. The Role of Biodiversity in Agronomy. In: Academic Press, 2005; Vol. 88, pp. 1–34 ISBN 0065–2113.
25. Durán Zuazo, V.H.; Rodríguez Pleguezuelo, C.R.; Rodríguez, B.C.; Ruiz, B.G.; Gordillo, S.G.; Sacristán, P.C.; Tavira, S.C.; García-Tejero, I.F. Terraced Subtropical Farming: Sustainable Strategies for Soil Conservation BT – Soil Health Restoration and Management. In; Meena, R.S., Ed.; Springer Singapore: Singapore, 2020; pp. 231–278 ISBN 978–981–13–8570–4.
26. Patanita, M.; Campos, M.D.; Félix, M.D.; Carvalho, M.; Brito, I. Effect of Tillage System and Cover Crop on Maize Mycorrhization and Presence of *Magnaportheopsis maydis*. *Biol.* 2020, 9.
27. Cooper, R.J.; Hama-Aziz, Z.Q.; Hiscock, K.M.; Lovett, A.A.; Vrain, E.; Dugdale, S.J.; Sünnenberg, G.; Dockerty, T.; Hovesen, P.; Noble, L. Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). *Soil Tillage Res.* 2020, 202, 104648, doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104648>.
28. Ortega, Rodrigo; Ortega, Jorge; Orellana, Carolina; García, Anamaría; Ospina, Paula; Torres, Beatriz; Molina, Mauricio; Gallardo, A. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas para la adaptación al cambio climático; 2004; ISBN 9789253082957.
29. FAO; VGSSM Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management; Rome, 2017;
30. Pennock, D.; Lefèvre, C.; Vargas, R.; Pennock, L.; Sala, M. SOIL EROSION: the greatest challenge for sustainable soil management Author Edition, Design & Publication; FAO, 2019; ISBN 9789251314265.
31. Kihara, J.; Bolo, P.; Kinyua, M.; Nyawira, S.S.; Sommer, R. Soil health and ecosystem services: Lessons from sub-Saharan Africa (SSA). *Geoderma* 2020, 370, 114342, doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114342>.
32. World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT). SLM Practices: Technologies and Approaches Available online: <https://www.wocat.net/en/global-slm-database/slm-practices-technologies-and-approaches> (accessed on May 31, 2020).
33. Adimassu, Z.; Langan, S.; Johnston, R.; Mekuria, W.; Amede, T. Impacts of Soil and Water Conservation Practices on Crop Yield, Run-off, Soil Loss and Nutrient Loss in Ethiopia: Review and Synthesis. *Environ. Manage.* 2017, 59, 87–101, doi:10.1007/s00267–016–0776–1.
34. López, V.; Espíndola, F.; Calles, J.; Ulloa, J. Amazonía ecuatoriana bajo Presión; 2013; ISBN 9789942946027.
35. Sánchez, D.; Merlo, J.; Haro, R.; Acosta, M.; Bernal, G. Soils from the Amazonia BT – The Soils of Ecuador. In; Espinosa, J., Moreno, J., Bernal, G., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2018; pp. 113–137 ISBN 978–3–319–25319–0.
36. Diaz, A. Caracterización de los suelos de la Amazonía ecuatoriana. In *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana*, N° 2; 2018; pp. 33–40.
37. Winckell; Alain; Zebrowski; Claude; Sourdat; Michel Las regiones y paisajes del Ecuador; 1997;
38. Sánchez, D.; Merlo, J.; Haro, R.; Acosta, M.; Bernal, G. Soils from the Amazonia. 2018, 113–137, doi:10.1007/978–3–319–25319–0_4.
39. Añazco, M.; Morales, M.; Palacios, W.; Vega, E.; Cuesta, A.L. Sector Forestal Ecuatoriano: propuestas para una gestión forestal sostenible; 2010; ISBN 9789942996633.

40. Sombroek, W.G. Soils of the Amazon region. 1984, 1978, 521–535, doi:10.1007/978-94-009-6542-3_20.
41. Mestanza-Ramón, C.; Henkanaththege, S.M.; Vásquez Duchicela, P.; Vargas Tierras, Y.; Sánchez Capa, M.; Constante Mejía, D.; Jiménez Gutiérrez, M.; Charco Guamán, M.; Mestanza Ramón, P. In-Situ and Ex-Situ Biodiversity Conservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. *Divers.* 2020, 12.
42. Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP) Sistema Nacional de Información Available online: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal SNI 2014/USO DE LA TIERRA/05-MAPA_NACIONAL_COBERTURA_USO.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/05-MAPA_NACIONAL_COBERTURA_USO.pdf) (accessed on Aug 18, 2020).
43. Maretti, C.; Riveros, S.; Hofstede, R.; Oliveira, D.; Charity, S.; Granizo, T.; Valdujo, P.; Thompson, C. State of the Amazon: Ecological Representation in Protected Areas and Indigenous Territories; Brasilia and Quito, 2014;
44. Amorim, H.C.S.; Ashworth, A.J.; Moore, P.A.; Wienhold, B.J.; Savin, M.C.; Owens, P.R.; Jagadamma, S.; Carvalho, T.S.; Xu, S. Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2020, 301, 107060, doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107060>.
45. Bilotta, G.S.; Brazier, R.E.; Haygarth, P.M. The Impacts of Grazing Animals on the Quality of Soils, Vegetation, and Surface Waters in Intensively Managed Grasslands. In: Sparks, D.L.B.T.-A. in A., Ed.; Academic Press, 2007; Vol. 94, pp. 237–280 ISBN 0065-2113.
46. Villa, P.M.; Martins, S.V.; de Oliveira Neto, S.N.; Rodrigues, A.C.; Hernández, E.P.; Kim, D.-G. Policy forum: Shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: Premises for REDD+. *For. Policy Econ.* 2020, 118, 102217, doi:<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102217>.

Reseña de autores:



Maritza Sánchez Capa, profesor investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Especialista en Agroingeniería. Investigadora del grupo de Investigación YASUNI-SDC.



Carlos Mestanza-Ramón, profesor investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Experto en Biodiversidad. Investigador del grupo de Investigación YASUNI-SDC. Desarrolla investigaciones en la Región Insular, Costa y Amazónica en Ecuador.



Itaty Sánchez Capa, estudiante de la Universidad de Los Hemisferios. Áreas de interés: Diseño y gestión de imágenes, Amazonía ecuatoriana.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).