

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



EL
GOBIERNO
DE TODOS

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



ISBN: 978-9942-36-039-7



9 789942 360397



Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2

Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible

agroinvestigacionecuador

@INIAPECUADOR

agroinvestigación iniap

www.iniap.gob.ec



Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2

Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana
y potenciales alternativas agroforestales
para el manejo sostenible

Julio, 2018

Publicación Miscelánea No. 445

Créditos

Autores: Astorga

Carlos Barrera
Paulo Bastidas
Félix Caicedo
Carlos Calderón
Darío Calero
Andrés Casasola
Francisco Chávez
Joffre Congo Carlos
Virginio Filho Elias de Melo
Díaz Alejandra
Fernández Fabián

Lima Luís
Moncayo Luis
Osorio Bertín
Paredes Nelly
Pico Jimmy
Sotomayor Dennis
Subía Cristian
Vargas Yadira
Vera Antonio Vizuete
Omar Velástegui
Francisco

Revisores:

Caicedo Carlos - INIAP
Moncayo Luís - INIAP
Paredes Nelly - INIAP
Pico Jimmy - INIAP
Subía Cristian - INIAP
Vargas Yadira - INIAP
Vera Antonio - INIAP
Casanoves Fernando - CATIE
Villarreyna Rogelio - CATIE
Villanueva Cristóbal - CATIE

Editores:

Elias de Melo Virginio Filho (CATIE)
Carlos Astorga D (Consultor CATIE)
Francisco Casasola (CATIE)
Carlos Caicedo (INIAP)

Fotografías:

Elias de Melo Virginio Filho
Carlos Astorga Domia
Francisco Casasola
Cristian Subía García
Jimmy Pico

Diagramación:

Rocío Jiménez Salas,
Tecnología de Información
y Comunicación, CATIE

Capítulo 5

El rol de los sistemas agroforestales en la conservación del suelo, biodiversidad, producción de agua, y almacenamiento de carbono

Autores: Nelly Paredes, Carlos Astorga, Fabián Fernández y Antonio Vera.

5.1. Introducción

Los bosques del trópico húmedo cubren alrededor del 25% de la superficie terrestre, son considerados como el ecosistema más complejo y biodiverso del mundo, debido a que son la mayor reserva de carbono de la biosfera, contienen cerca del 42% del carbono contenido en la biomasa y el 27% del carbono almacenado en los suelos. En el Ecuador los bosques naturales ocupan el 52% del territorio nacional, su mayor parte está ubicada en la región amazónica, produciendo un gran número de bienes y servicios para la población (Torres 2010; CORPEI y EXPOECUADOR, 2007-2012).

El suelo es un recurso natural fundamental que soporta el crecimiento de las plantas, dotándoles de anclaje, agua, aire y nutrientes a las raíces. La producción agropecuaria-forestal es dependiente de las características físico-químicas del suelo, por ello se puede afirmar que el suelo es el recurso natural más importante de la economía de los países (Alfonso *et al.* 2004).

Es así que se abordan temáticas como los factores bióticos y abióticos que contribuyen a la conservación de la biodiversidad de los suelos, los componentes del suelo y su interacción con la conservación y producción de agua y la conservación de carbono en el suelo, enfatizando que el suelo es un cuerpo natural tridimensional de la superficie terrestre, cuyas propiedades resultan del efecto integrado de la acción del clima y los seres vivos (plantas y animales), que actúan sobre el material parental o roca madre, de acuerdo a las condiciones de relieve en un cierto período de tiempo, es así que el crecimiento de las plantas en el suelo es el resultado de la acumulación de residuos orgánicos, la acción de animales, bacterias y hongos integrantes de la comunidad biológica que se alimentan de los residuos orgánicos, liberando los nutrientes que son utilizados en un nuevo ciclo de crecimiento de las plantas (Clapperton, 2003).

5.2. Factores bióticos y abióticos y su interacción en la conservación de la biodiversidad del suelo

Un ecosistema o agroecosistema se define como la unidad de estudio de las actividades agrícolas, donde interactúan los factores tecnológicos, socioeconómicos y ecológicos o el ambiente para la obtención de productos vegetales y la intervención del hombre a través del manejo tecnológico de los componentes bióticos y abióticos que se encuentran en permanente interrelación con los cultivos favoreciendo o limitando la producción (Enríquez *et al.* 2014).

Los factores bióticos lo integran organismos vivos (micro y macro organismos), que interactúan dentro de un agroecosistema, presentando características fisiológicas y comportamiento específico que les permite sobrevivir y reproducirse dentro de un ambiente determinado. Por otra parte, los factores abióticos como: suelo, clima, fisiografía constituyen las características físicas y químicas dentro de un agroecosistema (en este caso suelo) para el desarrollo de los seres vivos en armonía y permanente relación e interdependencia con los elementos bióticos, permitiendo un equilibrio

en forma natural o direccionada por el hombre a través de las tecnologías de manejo para alcanzar los mejores resultados productivos en los cultivos (Tu mundo, 2011).

El suelo es un cuerpo poroso conformado por partículas minerales (arena, limo y arcilla), materia orgánica, agua, aire y compuestos minerales en proporciones variables; por otra parte, la interrelación de estos elementos constituyen las características de textura, estructura, consistencia, porosidad, drenaje y profundidad de los suelos, es por ello que la nutrición de los cultivos no solo depende de las condiciones del suelo, sino también, de la interrelación de los factores ambiente, manejo y planta. Por otra parte en lo que respecta a la fisiografía está influenciada por el paisaje y posición geográfica de un agroecosistema determinado por la altitud, latitud y longitud, así como algunos elementos antrópicos como la deforestación, erosión y la quema (Enríquez *et al.* 2014).

El suelo tiene como función la de proveer soporte mecánico para las plantas, el volumen de suelo que pueden explorar las raíces en busca de agua y nutrientes y a la vez anclar la planta, está en función de la profundidad efectiva, sin embargo las plantas requieren de algunos elementos nutritivos esenciales. Se considera que por lo menos 16 elementos necesitan las plantas para su crecimiento. El carbono, oxígeno e hidrógeno se combinan en el proceso de fotosíntesis para formar los carbohidratos que representan más del 90% de la materia seca de la planta, los 13 nutrientes restantes las plantas los obtienen del suelo. Los elementos como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y azufre son requeridos por las plantas en cantidades relativamente grandes y por consiguiente se los llama macroelementos o elementos mayores, mientras que el manganeso, hierro, boro, zinc, cobre, molibdeno y cloro, las plantas los requieren en cantidades más pequeñas por lo que pasan a denominarse micronutrientes (Altieri *et al.* 2000).

Los componentes bióticos de los agroecosistemas establecidos en un suelo específico dependen del contenido de materia orgánica, manejo, la planta (semilla o clones) y de la diversidad de organismos vivos macro y microflora (lombrices, artrópodos, hongos, bacterias,

actinomicetos) los mismos que habitan en el suelo produciendo sinergias o antagonismo lo que permite equilibrar las poblaciones de especies benéficas y dañinas para los cultivos (Enríquez *et al.* 2014).

Los bosques tropicales proveen una serie de bienes y servicios esenciales, a escala global y regional, por su alto nivel de biomasa, que ayudan a regular el clima, previenen la erosión del suelo, reducen el efecto invernadero y protegen las microcuencas para la conservación de agua limpia para la humanidad, además, aportan con bienes, tales como: madera, fibras, resinas, productos animales, vegetales, miles de especies comestibles, recursos biológicos, genéticos y medicinales. Sin embargo, al menos el 25% de todas las drogas modernas tiene un ingrediente activo derivado de las plantas, de los bosques tropicales en muchos casos, descubiertos y usados por los pueblos indígenas y colonos, además, son importantes para proteger los valores innatos y culturales, en especial de los pueblos indígenas que dependen de los bosques para preservar sus formas de vida y satisfacer sus necesidades de alimentación y vivienda. (Naturaleza y cultura, sf).

5.3. Los sistemas agroforestales y su relación con la macro y micro fauna del suelo

Los diferentes cultivos manejados con prácticas amigables ayudan a la recuperación de los ecosistemas y a la conservación de la agrobiodiversidad generando hábitats para especies de macro y micro fauna nativas y silvestres, creando agroecosistemas que permiten ampliar las áreas donde interactúan de manera antagónica y sinérgica, contribuyendo a la protección de fuentes de agua, suelo y otros elementos asociados a los sistemas de producción, garantizando la sostenibilidad a largo plazo (Larrea, 2008; Young, 1989).

En este contexto la agroforestería está considerada como un sistema de uso del suelo que integra social y ecológicamente los árboles, cultivos agrícolas y/o

producción animal en forma simultánea o secuencial permitiendo la existencia de una riqueza en agrobiodiversidad, donde los componentes técnico, productivo y la conservación e interacciones biológicas, ecológicas, económicas y socioculturales, interactúan para alcanzar una mayor productividad de manera sostenida, especialmente en condiciones de tierras marginales y de bajo nivel de insumos (Ospina, 2015). Del mismo modo, los agroecosistemas de café y cacao contribuyen a la conservación de la agrobiodiversidad, permitiendo la degradación de desechos orgánicos, mejorando la fertilidad de los suelos, conservando la fauna y flora, ayudando a la polinización de plantas, favoreciendo el secuestro de dióxido de carbono, mejorando las condiciones de hábitat para la micro y macro fauna del suelo, la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes así como también el agroecoturismo comunitario (Navia *et al.* 2003).

En este aspecto para que exista una relación entre la biodiversidad y la productividad es importante que exista un creciente interés desde los sectores productivos que han identificado nuevas oportunidades por sus productos ante los cambios suscitados en sectores del consumo, acceso a mercados y el uso de técnicas y productos no contaminantes con los recursos naturales (Pérez *et al.* 2003). Otra forma de valorar la biodiversidad y las funciones ecológicas se relaciona con el número de especies, el endemismo, diversidad de las funciones ecológicas y los servicios para la humanidad, tratando de establecer una sinergia entre los productos de la agrobiodiversidad y la conservación, como belleza escénica, ecoturismo y plantas medicinales que son beneficios sociales y económicos de los sistemas agroproductivos (Duicela y Coral, 2009).

5.4. Los agroecosistemas y su relación con la fijación de carbono en el suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) tiene como elemento principal al carbono orgánico del suelo (COS), integrada por un conjunto de residuos de origen animal

y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo, donde interactúa la fracción viva o biota que participa en la descomposición y transformación de estos residuos orgánicos. En la MOS se distingue una fracción cambiante como fuente energética, que mantiene las características químicas de su material de origen (hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos), y una fracción húmica, más estable, constituida por ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. La MOS también se puede caracterizar de acuerdo a métodos físicos de fraccionamiento. Los métodos físicos se pueden agrupar en tres grandes grupos: tamizado, sedimentación y densitometría (Galantini y Suñer, 2008).

Desde el punto de vista agrícola, existen tres principios básicos para la recuperación del equilibrio entre el CO₂ captado de la atmósfera (Rügnitz *et al.* 2009).

- | El desprendido desde el suelo, a través de la producción y rotación de los cultivos (aumento de la biomasa, incremento de la materia orgánica y el ahorro de combustible fósil en la agricultura).
- | La eficiencia de los fertilizantes, e incremento de la superficie de regadío que se relaciona con una mayor o menor tasa de mineralización y liberalización de CO₂.
- | La disminución en el uso de maquinarias en las labores agrícolas.

Por ello es necesario desarrollar nuevas prácticas de manejo del suelo, como la siembra directa, para al-

macenar más CO₂ en el suelo, y optimizar la fotosíntesis

de las plantas para aumentar la producción de los cultivos, es decir, la agricultura de conservación favorece la acumulación de carbono orgánico en los primeros horizontes del suelo dejando los residuos del cultivo precedente sobre la superficie del suelo, en cambio, la agricultura convencional, acelera la pérdida de carbono según las circunstancias climáticas de las zonas agrícolas (Muñoz *et al.* sf).

Los ecosistemas forestales contienen cerca del 40% del total del carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra. Por lo general los bosques

naturales se encuentran en equilibrio y tan pronto como ocurra la deforestación o la reforestación, ese equilibrio será afectado; por lo tanto, donde la deforestación no puede ser detenida, es necesario un manejo correcto para minimizar las pérdidas de carbono, así pues la reforestación, el establecimiento de sistemas agroforestales sobre todo en suelos degradados, serán una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo (Zambrano *et al.* 2004)

De los ecosistemas terrestres, los bosques son los que almacenan la mayor cantidad de carbono, tanto a nivel de la vegetación como de los suelos, es así que un estudio realizado en Michoacán, demostró que las existencias de carbono total en bosques de pino y roble (222.9 -266.9 t·ha⁻¹) fueron mayores que en tierras con fines agrícolas (82.7-90.8 t C·ha⁻¹). De la misma manera, se observó que, en el caso de los bosques, el suelo almacena alrededor del 40 % del carbono total en el sistema, a diferencia de las tierras agrícolas (>90 %), (Ordoñez *et al.* 2008).

Los factores climáticos como la temperatura, erosión del suelo, precipitación, lixiviación del carbono orgánico e inorgánico y el viento causan pérdidas de carbono en el suelo provocando la mineralización de la materia orgánica y la degradación, afectando a más de 1 000 millones de hectáreas en todo el planeta, es decir, producen pérdidas del suelo que varían entre 1 y 10 t ha⁻¹ año⁻¹, llegando en algunos casos hasta 50 t ha⁻¹ año⁻¹. Para mitigar los impactos inducidos por estos factores,

los sistemas agroforestales pueden ser establecidos

en tierras improductivas, con bajos niveles de materia orgánica y nutrientes lo que requiere en su primera etapa sembrar leguminosas tales como: maní forrajero (*Arachis pintoi*), campanilla, (*Centrosema pubescens*), kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*), flemingia (*Flemingia macrophylla*), hoja de plata (*Desmodium ovalifolium*), sesbania (*Sesbania sesban*), barbasco guineano (*Tephrosiavogelii*), gliricidia (*Gliricidia sepium*), chocho (*Crotalaria grahamiana*), gandul (*Cajanus cajan*), entre otras que pueden proporcionar de 0.1 a 0.2 t de N ha⁻¹ año⁻¹, permitiendo mejorar la estructura del suelo por su abundante desarrollo radicular (Robert, 2002).

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es fácilmente mineralizable y solo una pequeña fracción (1%) del que ingresa se acumula en la fracción húmica estable, la cual representa del 1 al 5% del total de la materia orgánica del suelo y es una fuente de reserva de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (N, P); siendo el carbono 14 o la abundancia natural del carbono 13 los elementos más utilizados para la estimación del tiempo de residencia de la materia orgánica y sus fracciones en el suelo (Robert, 2002).

La tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo depende sobre todo de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno, drenaje, el uso de la tierra, los sistemas de cultivo, el manejo del suelo y de los cultivos. En un tipo de suelo dado, expuesto a prácticas constantes, se alcanza casi un equilibrio estable de la materia orgánica del suelo después de 30 a 50 años (Robert, 2002).

Los sistemas agroforestales (SAF), con cultivos perennes son sumideros importantes para la captura de carbono, lo que concuerda con varios estudios que han demostrado que los sistemas agroforestales de café a los 7 años de edad de la plantación, tienen un potencial de fijación de carbono de alrededor de 187.5 t ha^{-1} (carbono del suelo + carbono de biomasa aérea), por lo que son considerados como depósitos importantes por el constante flujo de materia orgánica aportado por la biomasa vegetal (Duicela y Coral, 2009). Del mismo modo en estudios realizados para determinar el contenido de carbono en SAF-cacao registraron un promedio de carbono total de $122 \pm 24 \text{ t C ha}^{-1}$, considerado como un nivel de intermedio a alto, donde determinaron que el 43% del carbono se almacenó en la biomasa aérea y el 41% en el suelo, por otra parte, la tasa de acumulación de carbono en la biomasa aérea fue $3.0 \pm 1.9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, es decir, la capacidad de almacenar carbono en SAF con cacao con mayor área basimétrica (variable de referencia de la masa forestal), fueron los que más carbono total y biomasa aérea registraron (Cerdeira *et al.* 2013).

El potencial de almacenamiento de carbono de los SAF oscila entre 12 a 228 t ha^{-1} , siendo las zonas del trópico húmedo las que presentan mayor potencial de almacenamiento de carbono, llegando hasta 70 t ha^{-1} en la vegetación (biomasa aérea) y 25 t ha^{-1} en los primeros 20 cm de profundidad del suelo (Dixon, 1995; Mutuo *et al.* 2005). Por otra parte, estudios realizados por Imbrahim *et al.* (2005), manifiesta que el almacenamiento de carbono puede variar entre 20 y 204 t ha^{-1} , estando la mayoría de este carbono almacenado en el suelo, pudiendo incluso tener incrementos de carbono anual que puede variar entre 1.8 y 5.2 t ha^{-1} . De igual forma en investigaciones de Nair *et al.* (2009), mencionan que el secuestro de carbono en la biomasa aérea y subterránea en sistemas agroforestales fue de $15.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. De acuerdo a estudios realizados por Albrecht y Kandji (2003), mencionan que los sistemas agroforestales podrían almacenar entre 1.1 y 2.2 Gt en los próximos 50 años en todo el mundo con lo que podría reducir significativamente el efecto del CO_2 sobre la atmósfera.

Por otra parte, estudios realizados por Arce (2006) en sistemas agroforestales con banano determinó que las condiciones son similares a las de un sistema con pasto, debido a que solo se toman en cuenta el falso tallo (pseudotallo) del banano, para el análisis de carbono. En éste caso el banano presenta una densidad promedio de 124 árboles por hectárea, y un promedio de carbono almacenado de $25.45 \text{ t C ha}^{-1}$, para el caso de un realce el promedio de carbono almacenado es de $18.72 \text{ t C ha}^{-1}$ con una densidad de 222 árboles por hectárea (Cuadro 19). Por otra parte el sistema agroforestal que mayor cantidad de carbono acumulado presenta es el de cacao, con una densidad poblacional de 665 árboles por hectárea.

En el sistema laurel, cedro, cacao para la localidad de Loma, el carbono total almacenado es mayor que para SAF banano y realce (Cuadros 19 y 20) (Arce, 2006).

En cambio para los SAF en la localidad del Valle la situación fue diferente, el carbono almacenado en los árboles de cacao representó aproximadamente el 23% del total de carbono para el sistema. En este caso, a diferencia de la localidad Loma, si restamos el carbono

Cuadro 19. Carbono almacenado en toneladas por hectárea según relieve por sistema.

Sistema	Loma		Valle		General	
	Total	Des est	Total	Des est	Suma	Devest
Realce	13,88	0,44	33,25	1,62	18,72	1,00
SAF Banano	17,65	0,92	29,90	1,48	25,45	1,36
SAF Cacao	40,54	1,56	31,49	1,21	35,04	1,39

Fuente: Arce, 2006.

Cuadro 20. Biomasa Total en t C ha⁻¹ por especie según relieve en SAF con cacao.

Especie	Loma	Valle	General
Cedro	0,55	1,60	1,19
Cacao	6,78	7,25	7,07
Laurel	13,86	8,75	10,76
Otras especies	19,34	13,86	16,01
Total SAF C	40,54	31,47	35,03

Fuente: Arce, 2006.

almacenado por los árboles de cacao, este sistema tendría la menor cantidad de carbono almacenado de los tres sistemas con un total de 24.22 t C ha⁻¹.

Estudios realizados en tres paisajes ganaderos en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, determinaron que el total de carbono orgánico en el suelo (COS) y biomasa arbórea, presentaron mayores depósitos en bosques secundarios con 297.6 ± 72.6 t C ha⁻¹, mientras que en pasturas degradadas registraron menor contenido total de C 26.5 ± 10.9 t ha⁻¹ (Ibrahim *et al.* 2007).

Por ello es importante la implementación de proyectos agroforestales ya que son una opción atractiva para minimizar las emisiones de carbono que causan el efecto invernadero, es así que los principales componentes de almacenamiento de carbono en el uso de la tierra son el carbono orgánico del suelo y en la biomasa arriba del suelo. Se ha estimado que el carbono en la biomasa

de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 t ha⁻¹ y entre 25 y 190 t ha⁻¹, respectivamente y que en el suelo puede variar entre 60 y 115 t ha⁻¹ (Brown *et al.* 1997), Por otra parte los sistemas agroforestales tienen un rol importantísimo para almacenar carbono ya sea en el suelo y en la biomasa, donde se han registrado valores entre 20 y 204 t ha⁻¹, estando la mayoría de este carbono almacenado en los suelos, pudiendo incluso tener incrementos de C anual que pueden variar entre 1.8 y 5.2 t ha⁻¹ (Ibrahim *et al.* 2005).

5.5. Los sistemas agroforestales y su relación con el agua

En los últimos años los sistemas agroforestales se han considerado de mucha importancia para el mejoramiento del suelo por el interés económico y ecológico,

para la producción agrícola, piscícola o forestal, además, funciona como reservorio, filtro de contaminantes y regulador de los flujos hídricos. El agua almacenada en el suelo se estima en unos 62.000 km³, frente a los 242.000 km³ que forman parte de las aguas subterráneas, los lagos, ríos y atmósfera; sin embargo, esta cantidad no supone el total de agua que potencialmente podría almacenarse, dado que el suministro de agua al suelo está condicionado por las características climáticas de la zona, fundamentalmente por la pluviometría y la evapotranspiración, mientras que la capacidad de almacenamiento del suelo está condicionada principalmente por su porosidad y por la naturaleza de sus componentes tanto orgánicos como inorgánicos (Costantini, 2000).

Siendo el agua el medio en el cual se producen la mayoría de los procesos edafogénicos, es razonable pensar que la cantidad de agua almacenada en los

suelos condiciona las características físicas, químicas

y biológicas de los suelos. Varios estudios reportan también la influencia de algunas especies arbóreas en el ciclo hidrológico y propiedades del suelo. Así como también, los diferentes usos del suelo modifican el balance del agua, debido a los cambios en la cantidad de agua interceptada y en la demanda evaporativa que ocurre (Silberstein *et al.* 2002).

5.6. Los sistemas agroforestales como alternativa al cambio climático

El dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero, que se produce debido a las actividades humanas, principalmente por la deforestación, es así que en los últimos 150 años, la tala indiscriminada de los bosques ha contribuido en forma muy significativa al aumento

de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera de la



tierra. Actualmente, cerca de un 20% de las emisiones de CO₂ resultan de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales. Por ello detener el proceso de la deforestación e iniciar con procesos de reforestación y manejo sustentable a través de sistemas de producción sostenibles como la agroforestería, implicará recapturar el CO₂, disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y reducir el calentamiento global (IPCC, 2014).

En los últimos años, el cambio climático es muy evidente en muchas regiones, presentándose impactos en los sistemas naturales, humanos y marítimos, lo que provoca serios problemas debido a que están siendo amenazados algunos ecosistemas, por lo que, muchas especies están en peligro debido a problemas de erosión genética y a la falta de capacidad adaptativa (IPCC, 2014).

Es por ello que el impacto del cambio climático en la agricultura dependerá de una serie de factores, incluyendo el sistema de producción, el sistema de gestión y el contexto particular de paisaje, por ello se requiere de sistemas de producción agrobiodiversos, donde imiten más a los sistemas naturales, en consecuencia, cultivos tales como café y cacao que se puede cultivar en sistemas agroforestales o como policultivos son más propensos a tener nichos y recursos para las especies de plantas y animales que los monocultivos (Harvey *et al.* 2005).

5.7. Los sistemas agroforestales y su relación con el ambiente

El modelo tradicional de producción ganadera en América Latina, con el uso de pasturas sin árboles, ha contribuido a la apertura de la frontera agrícola y por consiguiente a la destrucción de los bosques, degradación de los suelos, contaminación del agua y pérdida de la biodiversidad (Murgueitio *et al.* 2003). De ahí que el sector agropecuario demanda la aplicación de modelos

agroforestales y silvopastoriles, con el fin de mejorar la producción y mitigar los problemas ambientales (Saray, 2004).

Los sistemas agroforestales tienen como finalidad crear un microclima (humedad y temperatura del suelo), favorable para la actividad biológica de la macrofauna edáfica, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo, acorde con la exigencia de una gran cantidad de organismos vivos que desarrollan su vida o una gran parte de ella en o sobre el suelo (Rodríguez *et al.* 2000; Sánchez y Reinés, 2001). Agregando a lo anterior, en la Amazonía es importante el establecimiento de cultivos bajo el enfoque de sistemas agroforestales, los mismos que ayudan con el proceso de mejoramiento de la fertilidad de los suelos y conservación de la biodiversidad (Budowsky, 1980).

La macro y micro fauna del suelo cumplen una función importante, debido a que aceleran el proceso de reciclaje de los nutrientes, por lo que, el mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica del suelo y el ciclo biológico de los nutrientes es crucial para el éxito de cualquier gestión de los suelos en las zonas tropicales húmedas y para cumplir éste rol los cultivos de cobertura como las leguminosas rastreras o herbáceas, el estiércol o compost, apoyan de manera rápida al ciclo de los nutrientes a través de la biomasa microbiana (Trujillo, 2002; Rodríguez *et al.* 2002).

Los macro invertebrados como las lombrices de tierra y la fauna del suelo juegan un rol fundamental en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica en ambientes naturales del trópico húmedo, influyendo en la dinámica de los procesos químicos en los suelos de la Amazonía, es decir, la tasa de descomposición de los residuos vegetales está influenciada por la cantidad y calidad de la hojarasca, por los organismos que actúan en la descomposición de la materia orgánica y por las condiciones agroecológicas presentes en las zonas (Volhland *et al.* 1999; Barros *et al.* 2001; Powerr *et al.* 1998).

5.8. Bibliografía

- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99: 15-27. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00138-5.
- Alfonso, C; Monedero, M. 2004. Uso, manejo y conservación de suelos. La Habana, Cuba, Asociación Cubana de técnicos Agrícolas y Forestales. 71 p.
- Altieri, M; Nicholls, C. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera edición. México D.F. México. 257 p.
- Arce, N. 2006. Almacenamiento de carbono en charrales y sistemas agroforestales de cacao y banano en fincas de pequeños productores de territorios indígenas Cabécar y Bribri de Talamanca, Costa Rica. Tesis Lic. Ingeniero Forestal. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 73 p.
- Brown, P; Cabarle, B; Livernash, R. 1997. Carbon counts: estimating climate change mitigation in forestry projects. United States, World Resources Institute. 25 p.
- Budowsky, G. 1980. The place of agroforestry in managing tropical forests. *In* Mergen, F. (ed.). *International Symposium on Tropical Forests. Utilization and Conservation. Ecological, Sociopolitical and Economic Problems and Potentials. Proceedings.* New Haven, Yale University, 1981. pp 319-333.
- Cerda, R; Espín, T; Cifuentes, M. 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 49: 33-41.
- Clapperton, MJ. 2003. Increasing soil biodiversity through Conservation Agriculture Managing the soil as a habitat. *Agriculture and Agri-Food Canada*, Lethbridge Research Centre, 5403 1st Ave S, Lethbridge, Alberta T1J 4B1, Canada, Email: clapperton@agr.gc.ca *In*. II World Congress on Conservation Agriculture. pp 136-144.
- CORPEI (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, Ecuador); EXPOECUADOR (Agencia Ejecutora del Programa de Cooperación Económica con Ecuador). 2007-2012. Planificación estratégica bosques nativos del Ecuador. Quito, Ecuador, Sub-sector bosques nativos en el Ecuador.
- Costantini, E.A.C. 200. The recognition of soils as part of our cultural heritage. The second international Symposium on the conservation of our geological heritage. Roma, 20-21 maggio 1996. *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.*, vol. LIV, Ist. Pol. Zecca dello Stato, Roma, p. 175-180
- Dixon, RK. 1995. Agroforestry system: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31: 99-116. DOI: 10.1007/BF00711719.
- Duicela, L; Coral, R. 2009. *Café y ambiente. Reflexiones sobre la Contribución de la Caficultura en la Conservación de los Recursos Naturales.* s. l., Manta Ecuador. 110 p.
- Enríquez, G; Duicela, L. 2014. *Guía técnica para la producción de café robusta.* Ecuador, Portoviejo. 259 p.
- Galantini, A; Suñer, L. 2008. Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *Agriscientia* 2008. Vol XXV819 41-55
- Harvey, CA; Alpiza, F; Chacón, M; Madrigal, R. 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: historical overview and future perspectives. *Mesoamerican and Caribbean Region, Conservation Science Program.* San José, Costa Rica, The Nature Conservancy (TNC). 140 p.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Mora, J; Zamora, S; Gobbi, J; Llanderal, T; Harvey, A; Murgueitio, E; Casasola, F; Villanueva, C; Ramirez, E. 2005. Opportunities for carbon sequestration and conservation of water resources on landscapes dominated by cattle production in Central America. *In* Henry A. Wallace/CATIE Inter-American Scientific Conference Series (4,2005 Turrialba, Costa Rica). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). *Integrated management of environment services in human-dominated tropical landscape.* Turrialba, Costa Rica. p. 27-34. *Abstaracts.*
- Larrea LM. 2008. El cultivo de cacao nacional: un bosque generoso. *Manual de campo para la implementación de prácticas amigables con la biodiversidad en cultivos de Cacao Nacional.* Benítez, AC (ed.). *EcoCiencia* Quito, Ecuador. 42 p.
- Muñoz, De B; Sombrero, S. s. f. Fijación de carbono en el suelo en agricultura de conservación (en línea). s. l. ITACyL. Consultado 23 mar. 2016. Disponible en <https://www.google.com/search?q=Fijaci%C3%B3n+de+carbono+en+el+suelo+en+agricultura+de+conservaci%C3%B3n.+Instituto+Tecnol%C3%B3gico+Agrario++de+Castilla+y+Le%C3%B3n&ie=utf-8&oe=utf-8>
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, CA; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas. *Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto "Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas".* Murgueitio, E (ed.). s. e., Cali, Colombia.
- Mutuo, PK; Cadisch, G; Albrecht, A; Palm, C.A; Verchot, L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71:43-54. DOI: 10.1007/s10705-004-5285-6.

- Nair, PK; Kumar, BM; Nair, VD. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10-23.
- Navia E, J; Restrepo M, JM; Villada Z, DE; Ojeda PA. 2003. Agroforestería: opciones tecnológicas para el manejo de suelos en zonas de ladera. Manual de Capacitación (en línea). Santiago de Cali, Colombia, FIDAR. 80 p. Disponible en http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4869/1/20061024162729_manual%20capacitacion%20agroforesteria.pdf
- Ordoñez, JAB; De Jong, BHJ; García-Oliva, F; Aviña, FL; Pérez, JV; Guerrero, G; Martínez, R; Maser, O. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255:2074-2084.
- Ospina, A. (2015). Aproximación a la definición de agroforestería y al concepto de agroforestería ecológica (en línea). Cali, Colombia. Consultado 26 feb 2015. Disponible en www.agroforesteriaecologica.com
- Pandey, DN. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate Policy* 2(4):367-377.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). 2014. Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Field, CB; Barros, VR; Dokken, DJ; Mach, KJ; Mastrandrea, MD; Bilir, TE; Chatterjee, M; Ebi, KL; Estrada, YO; Genova, RC; Girma, B; Kissel, ES; Levy, AN; MacCracken, S; Mastrandrea, PR; White, LL (eds.). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza. 34 p.
- Pérez, A; Bornemann, G; Campo, L; Arana, I; Sotelo, M; Ramírez, F; Castañeda, E. 2003. Biodiversidad y producción en sistemas silvopastoriles de América Central. s. n. t. 89 p.
- Powers, RF; Tiarks, AE; Boyle, JR. 1998. Assessing soil quality: practicable standards for sustainable forest productivity in the United States. In Davidson, EA (ed.). Criteria and indicators of soil quality for sustainable forest productivity. Madison, WA, Special Publication 53 of the Soil Science Society of America. p. 53-80.
- Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Institut National de Recherche Agronomique. París. Francia. In Organización de las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación. p. 1-61.
- Rodríguez, I; Crespo, G; Sánchez, R; Fraga, S. 2000. Influencia del área sombreada por *Albizia lebbek* en indicadores del pasto (*Cynodon nlemfuensis*) y el suelo. *Rev. Cubana. Cienc. agríc.* 34:273.
- Rodríguez, I; Torres, V; Crespo, G; Fraga, S. 2002. Biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 36(4):403-408.
- Rügnitz, MT; Chacón, ML; Porro R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima, Perú, Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) / Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- Sánchez, S; Reinés, M. 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes* 24:191.
- Saray, S; Crespo, G. 2004. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas puras o intercaladas con *Ileucaena*. *Pastos y Forrajes* 27(4):347-353.
- Silberstein, R; Vertessy, R; Stirzaker, R. 2002. The basics of catchment hydrology. Chapter 2. In Stirzaker, R; Vertessy, R; Sarre, R (eds.). *Trees, Water and Salt: An Australian guide to using trees for healthy catchments and productive farms*. RIRDC, Canberra.
- Torres, JA. 2010. Los bosques tropicales. *El Nacional*, Santo Domingo, República Dominicana; 26 jun.:19.
- Trujillo, L. 2002. Fluxos de nutrientes em solo de pastagem abandonada sob adubacao organica e mineral na Amazonia central. Tesis M.Sc. Brazil, INPA and University of Amazonas.
- Tu mundo. Cambia tu vida cambia tu planeta. 2011. Factores bióticos y abióticos (en línea, sitio web). Consultado 20 jun. 2016. Disponible en: <http://http-ecologiatuplaneta.webnode.es/factores-bioticos-y-abioticos>
- Volhland, K; Schroth, G. 1999. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in Central Amazonia as affected by plant species and management. *Applied Soil Ecology* 13:57-68.
- Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB International. 276 p.
- Zambrano, A; Franquis, F; Infante, A. 2004. Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Rev. For. Lat.* (35):11-20.