

## EMISIÓN Y CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS EN ECOSISTEMAS FORESTALES

Alexis Zambrano<sup>1</sup>; Félix Franquis<sup>2</sup>; Angel Infante<sup>3</sup>

### RESUMEN

El presente artículo constituye una revisión y análisis bibliográfico acerca de los ecosistemas forestales como fuentes de emisión y captura de carbono. Se hace mención del papel de las plantaciones forestales para la fijación de carbono, la potencialidad de las tierras de pastoreo como sumideros, el papel de las prácticas agrícolas en la dinámica del carbono en los suelos, la influencia en la fertilidad del suelo en el secuestro de carbono, el efecto de la biomasa del suelo y el carbono mineralizado sobre los agregados y su efecto sobre la textura y los cultivos en el secuestro de carbono. Por último, se diserta sobre el uso de la biomasa como sustituto energético.

**Palabras claves:** Ecosistemas forestales, carbono, suministro de carbono, fijación de carbono, plantaciones forestales, prácticas agrícolas, biomasa.

---

<sup>1</sup> Licenciado en Química, Instituto de Investigaciones Agrícolas - INIA Mérida;

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal, Instituto Forestal Latinoamericano - IFLA Mérida; Licenciado en Química, Instituto de Investigaciones Agrícolas - INIA Mérida;

<sup>3</sup> Ingeniero Forestal Estudiante de Doctorado en Ecología Tropical, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas - ICAE, Universidad de Los Andes Mérida.

## **CARBON EMISSION AND CAPTURE IN SOILS OF FOREST ECOSYSTEMS**

### **SUMMARY**

The present article constitutes a bibliographical and analytical revision about forest ecosystems as emission sources and capture of carbon. The role of forest plantations for carbon fixation is mentioned, grassland potential as carbon sinks, the role of agricultural practices in carbon of soil dynamics, soil fertility influence on carbon sequestration, soil biomass effect and mineral carbon on aggregates and its effect on texture and on crops in carbon sequestration. Finally, biomass use as energetic substitute is emphasized.

**Key Words:** Forest ecosystems, carbon, carbon sequestration, carbon fixation, forest plantations, agricultural practices, biomass.

## NOTA PRELIMINAR

El Protocolo de Kyoto acepta el uso de ciertos sumideros de carbono para el cumplimiento de los compromisos obligatorios asumidos por los países. En el Artículo 3.3 se establece que sólo aquellos sumideros relacionados con actividades de “forestación, reforestación y deforestación” y que hayan sido inducidos directamente por actividades humanas posteriores a 1990, son elegibles. El Artículo 3.4 permite que se agreguen otras actividades adicionales en el futuro, tales como las tierras de pastoreo, entre otras. Varios países ya han solicitado la inclusión de sumideros resultantes de cambios en el uso de la tierra y manejo de bosques no contemplados en el Artículo 3.3 del Protocolo de Kyoto. Las definiciones de “forestación” (implantación de bosques en tierras con otro tipo de vegetación) y “deforestación” (eliminación de bosques y conversión a otros usos) parecen a primera vista bastante sencillas, aunque es necesaria una definición universalmente aceptada de bosque. El concepto de “reforestación” plantea numerosas alternativas y su definición ha sido motivo de polémicas. El Informe Especial del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC (2000) sobre cambios en el uso de la tierra y forestación publicado en mayo de 2000 proyectó varios de estos conceptos, aunque dejó muchas definiciones dadas a decisiones políticas. Tal es caso de los Ministros de Ambiente de la Unión Europea que se han opuesto a aceptar la inclusión de sumideros en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Esta posición será seguramente acompañada por la Alianza de Estados-Islands (AOSIS), por China y otros países. Las organizaciones no gubernamentales ambientalistas también hacen campaña por este objetivo. Por otra parte, otro grupo de países como Estados Unidos, Canadá, Francia y Bélgica se han pronunciado a favor de la inclusión de los sumideros en el MDL. Esta posición es también apoyada por varios países de África y del Sureste de Asia. Las diversas posiciones en torno a este tema están claramente empañadas de intereses políticos y económicos y parecen tener una muy débil relación con el objetivo ambiental de combatir el cambio climático.

## **1. Ecosistemas Forestales: Emisión de CO<sub>2</sub> y Captura de Carbono en los Suelos.**

### **1.1 Aspectos Generales.**

Las investigaciones recientes indican que los bosques, aún en pie, fijan por lo menos 25% del carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente de la combustión de combustibles fósiles (Malhi, Baldocchi y Jarvis, 1999). La mayoría de los modelos climáticos también indican que los sumideros de carbono aumentarán durante la primera mitad del presente siglo, debido a una extensión de la cobertura forestal. En el sector del uso de la tierra y bosques se han identificado dos estrategias principales para acumular carbono. La primera se refiere a aumentar la fijación de carbono al crear o mejorar los sumideros existentes y la segunda consiste en prevenir o reducir la tasa de liberación de carbono ya fijado en sumideros existentes. Las actividades de fijación de carbono pueden incluir tratamientos silviculturales para aumentar el crecimiento, agroforestación, forestación, reforestación y restauración de áreas degradadas.

En cuanto a las plantaciones forestales para fijación de carbono, es muy importante saber catalizar los espacios que se abren para la promoción de actividades sostenibles en el ámbito del uso de la tierra y los bosques. Los cálculos tradicionales de costo/beneficio tienen peso frecuentemente en contra de todo tipo de reforestación. Sin embargo, los pagos por fijación de carbono pueden ayudar a equilibrar la economía de las plantaciones forestales. Ahora se reconoce que los restos económicos de una plantación que generalmente tienen una tasa interna de retorno muy a largo plazo, han indicado mucha de la inversión potencial de esta actividad. Adicionalmente, los costos capitales altos y la falta de ganancias en los primeros años favorecen el establecimiento de monocultivos con altas tasas de rendimiento, rotaciones cortas y políticas de costos mínimos de administración, pueden ser ambientalmente problemáticos (Stuart y Costa, 1998).

Los bosques cubren el 29% de las tierras y contienen el 60% del carbono de la vegetación terrestre. El carbono almacenado en los suelos forestales representa el 36% del total del carbono del suelo a un metro de profundidad (1.500 Pg). Los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro uso de la tierra y sus suelos (que contienen cerca del 40% del total del carbono) son de importancia primaria

cuando se considera el manejo de los bosques. Por lo general, los bosques naturales se encuentran en equilibrio, pero tan pronto como ocurre la deforestación o la reforestación, ese equilibrio es 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, sobre todo en suelos degradados será una forma importante de secuestro de carbono a largo plazo, tanto en la biomasa como en el suelo.

## **1.2 Tierras de pastoreo: potencialidad como sumideros de carbono.**

En primer lugar las tierras de pastoreo, según la FAO, ocupan 3.200 millones de ha y almacenan entre 200 y 420 Pg en el ecosistema total, una gran parte del mismo debajo de la superficie y por tanto, en un estado relativamente estable. El carbono del suelo en las tierras de pastoreo es estimado en 70 t/ha, cifra similar a las cantidades almacenadas en los suelos forestales (Trumbmore y col., 1995).

Sin embargo, es importante resaltar que muchas áreas de pastoreo en las zonas tropicales y áridas son mal manejadas y están degradadas; por lo tanto, ofrecen variadas posibilidades de secuestro de carbono.

## **1.3 Tierras cultivadas: el papel de las prácticas agrícolas.**

El desarrollo de la agricultura ha implicado pérdida de la materia orgánica del suelo (MOS). Hay varias prácticas de las diferentes formas de manejo del suelo que pueden ser usadas para aumentar el contenido de materia orgánica tales como el incremento de la productividad y biomasa, la fertilización y la irrigación. El cambio climático global puede tener un efecto similar. Las fuentes de materia orgánica también incluyen residuos orgánicos, compost y cultivos de cobertura.

Las principales formas de obtener un incremento de la MOS están asociadas a la agricultura de conservación, especialmente referidas a la labranza mínima y/o cero, así como el uso de cobertura vegetal continua y protectora, formada por materiales vegetales vivos o desechos de éstos sobre la superficie del suelo. No obstante, en suelos sin cultivos (condiciones naturales) el carbono orgánico es protegido, mientras que bajo

el cultivo convencional, hay una perturbación de la tierra la cual, se podría reflejar con el mayor secuestro del carbono orgánico y la calidad de la tierra con las mejoras en el estado de agregación.

#### **1.4 Influencia de la fertilidad del suelo en el secuestro del carbono.**

Se ha conseguido que un programa de fertilidad del suelo aumenta al máximo los rendimientos de producción, así como también puede afectar positivamente los niveles de carbono orgánico secuestrado.

Las enmiendas de suelos con carbonato de calcio o la fertilización incrementan la biomasa tanto aérea como en el suelo, siempre que no hayan otras condiciones limitantes. Como resultado, el carbono del suelo será por lo general, incrementado.

Pero, para que el secuestro del carbono sea efectivo bajo el incremento de la biomasa, se requiere el uso de prácticas de manejo adecuadas tales como labranza cero.

No obstante, esta tendencia sólo ocurre en los países industrializados donde la fertilización se realiza de manera más racional y factible, debido a los costos que la misma implica. De igual manera, la fertilización con carbono en relación con el nivel de incremento atmosférico del CO<sub>2</sub> tendrá un efecto similar.

El incremento de la biomasa de los cultivos puede aumentar el ingreso de materia orgánica en el suelo, el que puede ocurrir por medio de la introducción de nuevas variedades de manejo agronómico, como en el caso de los nutrientes, especialmente el nitrógeno y la rotación de cultivos. Siendo los fertilizantes nitrogenados los más costosos del mercado, se recomienda el uso de leguminosas para incrementar los niveles de este elemento. Se requiere cerca de 70 – 100 kg de nitrógeno para capturar una tonelada de carbono. El aumento del contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera debido al cambio climático puede tener una influencia positiva similar, conocido como efecto de fertilización con CO<sub>2</sub>. En este sentido, un significativo número de investigaciones desarrolladas en Europa, indican que la tasa fotosintética se ha incrementado debido al contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. En estos experimentos se ha conseguido una eficiente absorción del nitrógeno así como una reducción del carbono remanente.

La llamada intensificación agrícola o el uso del riego (combinado con un buen drenaje) permiten un incremento de la producción de biomasa, pero las condiciones no son necesariamente compatibles con las requeridas para el almacenamiento de carbono, por lo que se precisa un estudio detallado de todas las variables que intervienen en el incremento de biomasa por la fertilización para secuestrar el carbono atmosférico.

### **1.5 Efecto de la biomasa del suelo y el carbono mineralizable sobre los agregados y su efecto sobre la textura y cultivos en el secuestro del carbono.**

La biomasa tiene muchas ventajas para asegurar un futuro favorable para el medio ambiente. Los estudios sobre secuestro del carbono y la producción de carbono orgánico del suelo, son características importantes en los ciclos biogeoquímicos y la contribución del suelo a las emisiones de gas del efecto invernadero. Los macroagregados (>0,25 mm de diámetro) tienen una mayor concentración de carbono de la biomasa microbiana y del carbono mineralizable que los microagregados, cerca de la superficie del suelo.

El incremento de la biomasa considera tanto la biomasa aérea como las raíces. Se podrían hacer considerables avances sobre todo, en lo que se refiere a las tierras de pastoreo seleccionando especies y variedades con raíces profundas, lo que al mismo tiempo, mejoraría los espacios porosos del suelo y los agregados del mismo, y de allí incrementar la capacidad de retención de humedad, especialmente en los suelos de zonas áridas y semiáridas. Otro componente de la biomasa y que contribuye con la formación y estabilidad de los agregados, caracterizado por el incremento de la materia orgánica, es la población de microorganismos (biomasa microbiana) y macrofauna (organismos con tamaño > 1 cm); estos últimos colaboradores de la formación de estructura y porosidad. Su número se incrementa paralelamente al aumento de la materia orgánica con una disminución de la labranza cero.

Algunos trabajos en esta materia como los de Horn, Taubner y Wuttke (1994), donde se relacionan las propiedades físicas del suelo con su estructura, han demostrado que las propiedades físicas del suelo dependen de la actividad biológica del suelo y de la clase y calidad de materia orgánica. Además, estudiando los procesos de intercambio químico respecto al estado de agregación del suelo, flujo de masa y a los procesos de difusión, el

mismo autor ha conseguido un excelente intercambio para los suelos, con mejor estado de agregación y mayor actividad biológica. Por tal razón, la materia orgánica y los organismos vivos asociados a la misma, juegan un papel principal en la agregación del suelo en diferentes escalas de su organización, tanto a micro como a macronivel. La agregación y los procesos de captura de carbono están estrechamente asociados (Golchin y col., 1994). Muchas propiedades dependen de la estructura del suelo y de su estabilidad, de la retención de agua y su liberación para las plantas, de la tasa de infiltración y de la resiliencia de la erosión y de otros procesos físicos de degradación.

### **1.6 Uso de la biomasa como un sustituto energético.**

Se habla poco acerca del uso de los árboles y otro tipo de biomasa como una fuente de energía para sustituir el uso de combustibles fósiles emisores de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, ya se sabe que el cultivo y uso de biomasa de forma constante para sustituir los combustibles fósiles, tiene ventajas en comparación con el uso de biomasa exclusivamente como un medio de retener el carbono para crear un sumidero de CO<sub>2</sub>. La biomasa renovable cultivada es un combustible neutro en cuanto a la emisión de CO<sub>2</sub>, con bajo contenido de compuestos de azufre, que puede convertirse en calor, electricidad y combustibles líquidos o gaseosos. La biomasa se cultiva permanentemente para generar energía a fin de producir beneficios ambientales, como conservación del suelo y protección de la biodiversidad en comparación con los cultivos anuales. Además, las comunidades rurales pueden obtener empleos en lugar de excluir los suelos del proceso productivo con el único fin de secuestrar carbono (Hall, 1998). Por lo tanto, el cultivo y producción de biomasa para generar energía tiene numerosas ventajas sociales y ecológicas.

En todo caso, al presentarse problemas asociados con el cultivo de biomasa solamente como un sumidero de carbono, éstos estarían enmarcados básicamente en: una vez que los árboles o plantas alcanzan la madurez, comienzan a perder el carbono almacenado y durante toda la vida de los árboles, es preciso hacer frente a los costos de mantenimiento. Sin embargo, cuando se cultiva biomasa por períodos cortos, con ciclos definidos y se le usa como una fuente de combustible, se generan ingresos de forma continua, creándose fuentes de trabajo locales y otros beneficios. El uso de biomasa como fuente de energía para compensar la utilización de combustibles fósiles y la retención provisoria de carbono en la biomasa en



crecimiento (y los suelos que la sustenta) deberían ser un componente de todos los proyectos del “Mecanismo para el Desarrollo Limpio” (MDL) o de las Actividades de Implementación Conjunta (AIC), siempre y cuando se impongan controles verificables y transparentes, asegurando a la vez, que los pueblos locales se beneficien durante todo el proceso de ejecución de estos proyectos de uso de la tierra.

## BIBLIOGRAFIA

1. Golchin, A., J.M. Oades, J. O. Skje120
2. Mstad; P. Clark. 1994. **Soil structure and Carbon Cycling**. Aust. J. Soil Res. 32, 1043-1068.
3. Hall, D. 1998. **La Biomasa: Un Sustituto Energético**. Boletín OIMT. 6 (4), 9.
4. Horn, R; Taubner H. y Wuttke M. 1994. **Soil Physical Properties Related to Soil Structure**. Soil y Tillage Research. 30. 187–216.
5. Malhi, Y., D.D. Baldocchi y P.G. Jarvis. 1999. **The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests**. Plant, Cell and Environment: 715-740.
6. Stuart, M. y M. Costa, P. 1998. **Climate Change Mitigation by Forestry: a Review of International Initiatives. Policy that Works for Forests and People**. Series N° 8. International Institute for Environment and Development, London. England.
7. Trumbmore, S.E. y E.R.M. Druffel. 1995. **Carbon Isotopes for Characterizing Sources and Turnover of Non-living Organic Matter. In the Role of Non-living Organic Matter in the Earth's Carbon Cycle**. R.G. Zepp y Ch. Sonntang. Editores. Wiley, Chichester. 7-22.