

**ACUMULACIÓN DE CARBONO EN SUELO DE PASTURAS PURA Y ASOCIADA DE  
*Pennisetum clandestinum* Y *Lotus uliginosus*, EN LA SABANA DE BOGOTÁ**

**Salinas Salinas A<sup>1</sup>, Mayorga OL<sup>2</sup>, Caballero LM<sup>3</sup>**

**Universidad Nacional de Colombia. Proyecto de Tesis de Maestría Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Financiado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Km 14 Vía Mosquera, Corpoica. Cel. 3112737463. [alexasalinas@yahoo.com](mailto:alexasalinas@yahoo.com).**

**2 Director Externo [lmayorga@corpoica.org.co](mailto:lmayorga@corpoica.org.co).**

**3 Codirector [lmcaballeror@unal.edu.co](mailto:lmcaballeror@unal.edu.co)**

## **INTRODUCCIÓN**

En este sentido, el sector agropecuario enfrenta grandes retos para atender de forma competitiva y sostenible los mercados locales, regionales y globales y adaptarse a los cambios climáticos.

Con miras a generar esfuerzos por mejorar la capacidad de adaptación de los sistemas productivos, se reconoce que uno de los problemas más generalizados por los que afronta la ganadería en el país es la degradación de las pasturas asociada principalmente a la compactación de los suelos haciendo que estos sistemas sean más vulnerables a variaciones climáticas extremas. Además las pasturas degradadas contribuyen a una alta emisión de metano y tienen poca capacidad de almacenamiento de carbono alterando las características del suelo como la distribución de la Materia Orgánica, la actividad microbiana y la dinámica de los nutrientes (Jenkinson, 1992); por tanto disminuye el contenido de carbono.

Al respecto se sostiene que el 70% de las tierras de pastoreo están o se encuentran en un proceso de degradación, consecuencia del sobrepastoreo, por lo que es necesario generar prácticas de manejo del suelo y de las praderas para remediar el suelo (Bravo y Florentino, 1999).

A esto se suma que las sabanas (Mouillot and Field 2005) citado por Batjes et al. (1999) son consideradas fuente importante de emisiones de Carbono por el sector ganadero, sin embargo son poco conocidas y cambiantes. A partir de esta situación surge el interrogante de cuál es el efecto de las especies forrajeras en la acumulación de carbono en el suelo en la Sabana y cómo cambia esta condición de carbono almacenado.

Una de las formas para evaluar la existencia de carbono en el suelo es a través de la materia orgánica; en el suelo (FAO, 2002) las raíces vivas son consideradas como biomasa de carbono y en las tierras de pastoreo, por ejemplo, pueden contribuir con la mayor parte del carbono del suelo. El método más comúnmente aplicado es la determinación del carbono orgánico total a diferentes profundidades o globalmente para uno o más horizontes y transformar los datos teniendo en cuenta características físicas, biológicas y químicas. Las estadísticas son calculadas sobre diferentes muestras para determinar las existencias de carbono. Los resultados pueden ser expresados en kg/cm<sup>2</sup>, t/ha o Gt (Pg) totales sobre áreas especificadas y a varios rangos de profundidad.

Bajo estas condiciones, la importancia de evaluar el almacenamiento de Carbono en suelo permite relacionar el sostenimiento de la materia orgánica con la producción; además de la importancia de contrarrestar entre el 5 y el 15% las emisiones globales, aspecto de gran interés actual (FAO, 2002).

En este sentido, surge esta investigación para generar conocimiento alrededor del almacenamiento de carbono incorporado en el suelo en función de dos especies forrajeras en cultivo puro y mezcla a través de mediciones de materia orgánica a diferentes profundidades para valorar acumulación de carbono y la actividad biológica para estimar la emisión y pérdida de carbono en la Sabana de Bogotá, ecosistema altoandino así tener una aproximación a un modelo de la economía del carbono en ecosistema altoandino con influencia de sistemas de pastizales.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Valorar el efecto de dos especies *Pennisetum clandestinum* (pasto kikuyo) gramineae y *lotus uliginosus* (trébol pata de pájaro) fabacea, en cultivo puro y asociado sobre la acumulación de carbono en suelo en ecosistema altoandino.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la acumulación de carbono orgánico en el suelo.

### III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

- Determinar la emisión de carbono a través de la actividad biológica del suelo en sistemas de pastizales.
- Construir con la información obtenida un modelo comparativo sobre la acumulación en la zona de estudio.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

#### AREA DE ESTUDIO

El trabajo se realizó en Corpoica, sede Tibaitatá, Mosquera en el departamento de Cundinamarca, localizado a 4° 42' Latitud Norte y 74° 12' Longitud Oeste, ubicado en la Sabana de Bogotá en el km 14 sobre la carretera central de occidente, Municipio de Mosquera del Departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000).

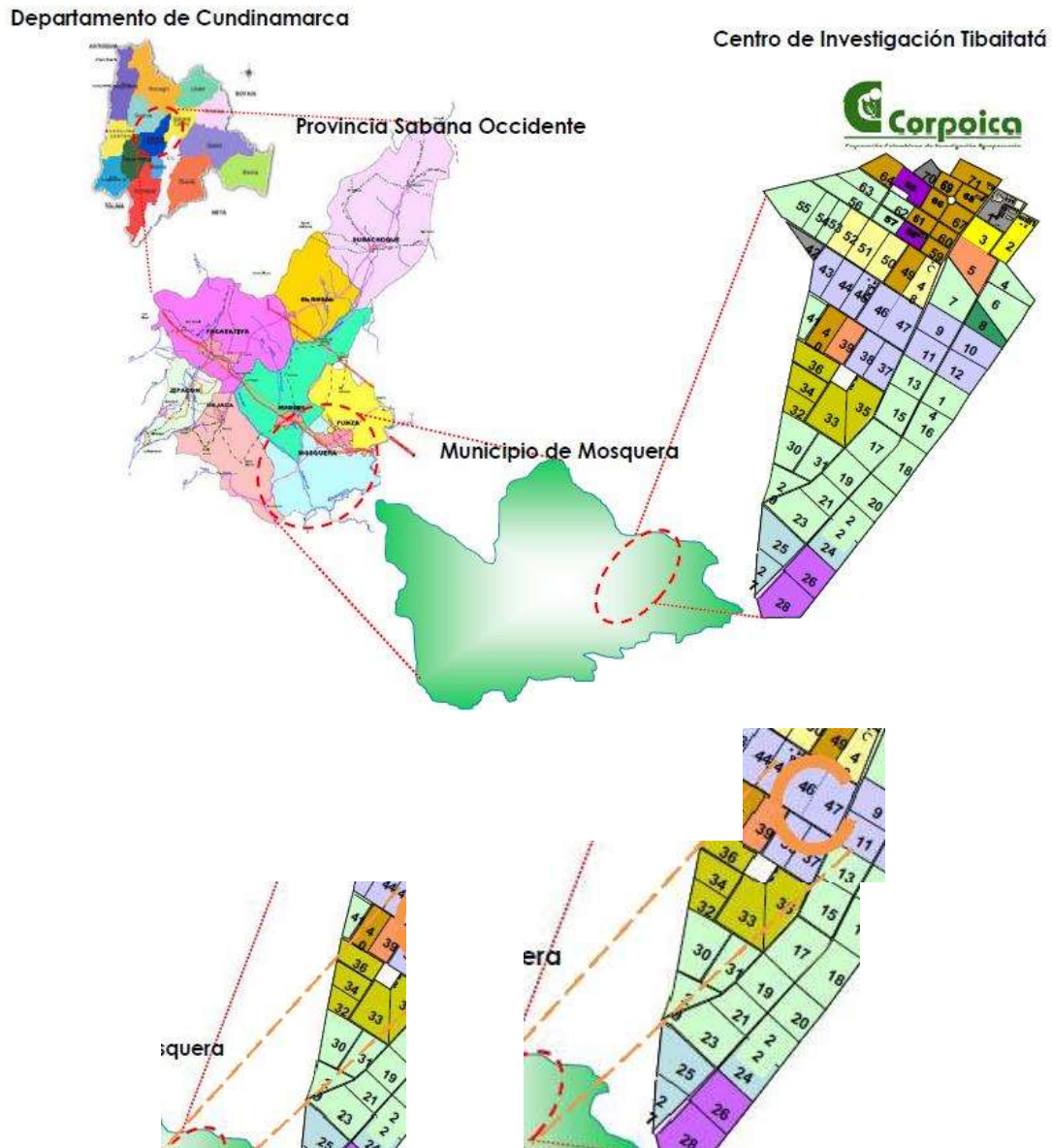


Figura 1. Ubicación del Centro de Investigación Tibaitatá en el Municipio de Mosquera, Cundinamarca. Adaptado de Corpoica & Car (2008)

En cuanto a las características climáticas el área de estudio se clasifica como clima frío seco de acuerdo con Caldas-Lang, con precipitaciones medias anuales inferiores a 700 mm, distribuidas a través del año en dos épocas lluviosas; la primera en marzo a mayo y la segunda de septiembre a noviembre, dando como resultado dos períodos secos en el intermedio (diciembre a febrero y junio a agosto); sin embargo a escala interanual, estos períodos han sufrido modificaciones debido a fenómenos como “El Niño” y “La Niña” aso-

ciados con ondas de tipo atmosférico-oceánico (Rossby, Kelvin, Madden & Julian) tienden a modificar el comportamiento de las lluvias, siendo determinantes en años más húmedos (1984, 2004 y 2006) y más secos (1980, 1992 y 1997). En cuanto a la humedad relativa promedio anual es de aproximadamente 80%, siendo influenciada por la precipitación, razón por la cual, durante los meses lluviosos se presentan altos registros de humedad relativa comparado con los meses secos que tienen valores más bajos de este elemento (IGAC et al. 2000).

En cuanto a la zona de vida teniendo en cuenta la clasificación general de Holdridge, el área se ubica en el Piso Altitudinal Montano Bajo, en alturas entre los 2000 y 3000 m.s.n.m. y específicamente en una formación de **Bosque seco montano bajo (bs/MB)**, con un rango de biotemperatura media entre 12 y 18°C y lluvias inferiores a 1000 milímetros al año, con una evapotranspiración promedio anual entre 650 y 690 mm (calculada por método Thornthwaite).

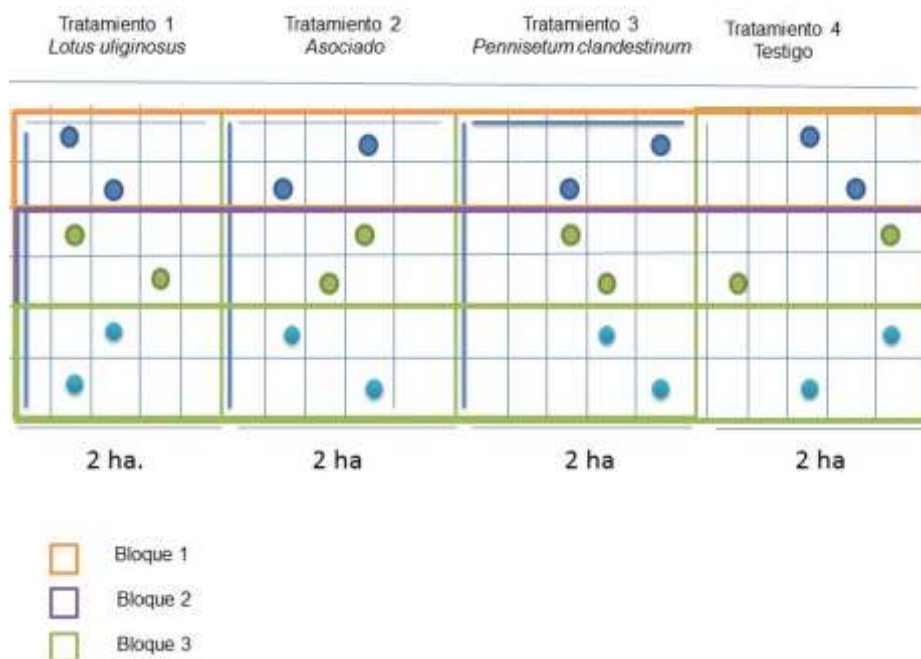
De acuerdo con la zonificación agroecológica de Colombia (IGAC – Gobernación, 2000) los suelos de Tibaitatá corresponden a la representación de tierras de altiplanicies, con pendientes hasta del 3%. Los suelos se clasifican taxonómicamente como **andisoles**, es decir, con influencia variable de cenizas volcánicas. Aunque la clasificación taxonómica es imprecisa para este estudio se determina que el orden, suborden y gran grupo hacen parte de la unidad definida como Haplustands medial isomésico; caracterizada por tener régimen seco, provenientes de cenizas volcánicas y con un régimen de temperatura entre 8 y 15° C. Generalmente son suelos profundos, bien drenados y de fertilidad moderada. Son áreas aptas para cultivos transitorios y ganadería intensiva. Estos suelos son representativos de 63.700 ha que se encuentran en el país.

**Descripción de los materiales y métodos**

Este trabajo tiene un enfoque exploratorio, experimental y explicativo abordando la interacción entre carbono orgánico y características productivas del suelo y factores climáticos. La metodología aplicada permite comparar y evaluar relaciones entre especies forrajeras y valores de carbono, cuyos resultados son analizados a través de gráficos de referencia; para su desarrollo fueron tenidas en cuenta las siguientes fases:

**Fase I:** Revisión secundaria.

Colectar la información existente sobre estudios relacionados con dinámica de carbono en el suelo y su relación con sistemas de pasturas, métodos de análisis basado en estudios de la FAO (2002), IPCC (2001), descripción del perfil de suelos de Tibaitatá de acuerdo con el IGAC et al. (2000); estudios sobre actividad biológica del suelo desarrollados entre otros investigadores por Weissenberg (1954), Haber (1958), Wiant (1967), Witkamp (1966), Kucera et al. (1971), Jong et al. (1972), Caballero et al (1985) y (1986).



**Gráfico 1.**  
tratamien-  
área de

**Diseño de  
tos en el  
estudio.**

**Sistema de grillas**

### III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

#### **Fase II.** Selección de áreas muestrales

El estudio abarca la totalidad del área de sistemas de pasturas con dos años de establecimiento para producción de leche especializada por la Empresa Ganadera de Megaleche, es decir aproximadamente 8 hectáreas divididos en aproximadamente 2 ha cada uno, para considerar el muestreo por cada tratamiento, siguiendo un diseño completamente no aleatorizado diferenciados en tres bloques; efectuando 4 repeticiones, durante un año.

La distribución de los muestreos utilizando el sistema de grilla sigue las pautas del método para toma de muestras definido por el Instituto Agustín Codazzi, tal como se puede observar en el gráfico 1. Los tratamientos fueron: 1) leguminosa forrajera *Lotus uliginosus* con cobertura del 100%; 2) Asociado *Pennisetum clandestinum* con una cobertura de 60-70% *Lotus uliginosus* 30-40%; 3) *Pennisetum clandestinum* con 100% de cobertura; 4) Testigo con *Pennisetum clandestinum* cobertura del 100%.

*Las prácticas de renovación de praderas (guadaña y aplicación de fusilade 1. (2 lt/ha); 2. (1lt/ha); 3 (no se fumiga), control de malezas manual y fertilización fueron aplicados en los tratamientos 1, 2 y 3; mientras que en el tratamiento 4 no se efectúan prácticas de manejo y renovación de praderas.*

#### **Fase III.** Mediciones

Las siguientes fueron las mediciones desarrolladas para dar cumplimiento a los objetivos propuestos:

##### • **Mediciones en suelo:**

- Para la determinación de almacenamiento de carbono fueron realizadas 24 cajuelas de 20\*20 cm en el área de estudio, a las profundidades de 0-15, 15-30 (Horizonte A) y 30-60 cm (Horizonte B) cuyas distancias oscilan entre 50, 100 mt -150 mt sistema adaptado por recomendaciones del CIAT, con 4 repeticiones.
- **Determinación de carbono total por el método de combustión seca:** Las muestras de suelo son secadas y molidas y luego su tamaño es reducido adecuadamente en un molino de balines diseñado en el CIAT, para que el suelo quede con un tamaño de partícula de 105 µm de una manera homogénea (Rondon y Thomas, 1994); las muestras son analizadas en el Laboratorio de Isótopos estables de la Universidad de California. El análisis es destructivo, ya que las muestras de suelo son pasadas a estado gaseoso mediante la aplicación de temperatura para poder ionizar la muestra y establecer los niveles de fracción estable de carbono a través de nitrógeno total, C13 y N15.
- **Determinación de carbono total por el método de combustión húmeda:** El método más utilizado es el de Walkley Black la diferencia con el anterior es que no incluye el conteo de carbonatos.
- **Humedad gravimétrica del suelo:** Las muestras son secadas en estufa eléctrica a peso constante a una temperatura de 105 grados centígrados.
- **Densidad aparente:** muestras no disturbadas en anillos de 2.5 cm de altura por 5 cm de diámetro, cálculo requerido para determinar el peso de carbono por hectárea.
- **Determinación de actividad biológica de suelo:** para la cuantificación de la respiración del suelo es utilizada una caja para la captación de CO<sub>2</sub> evolucionado, medida in situ por medio de la cual se utiliza la capacidad de KOH para absorber el CO<sub>2</sub> expulsado por raíces (tratamientos 1, 2 y 3) y por un área desprovista de vegetación (tratamiento 4) durante períodos diurnos y nocturnos con ciclos de 12 horas.
- **Monitoreo por arreglos de recambio de emisiones:** para el monitoreo de los flujos de GEI entre el suelo y la atmósfera, se utiliza la técnica de la cámara cerrada estática, la cual es utilizada a nivel internacional para la medición de Dióxido de carbono y se encuentra estandarizada y validada en CIAT (Chu, 2007; Robertson, 2000; Smith, 1995). Por cada cámara, se toman muestras de 10 ml de aire en los tiempos 0, 10, 20 y 30 minutos a partir de la ubicación de la cámara mediciones mensuales durante un año; registrando datos de temperatura y humedad del suelo para su respectivo análisis. Estas muestras son posteriormente enviadas al laboratorio de Isótopos estables del CIAT, para determinar la concentración de Dióxido de Carbono con el cromatógrafo de gases Shimadzu® GC-14<sup>a</sup>.

#### **Fase IV.** Procesamiento y Análisis de datos

Los datos son organizados y tabulados de acuerdo con cada tipo de medición y análisis comparando medias, efectuando análisis de componentes principales. Con los registros se permite establecer correlación entre el carbono orgánico, factores climáticos y características productivas del suelo. Se elaboran modelos utilizando Stella por cada tratamiento para hacer una aproximación al balance de carbono a través de valores de referencia y medidos teniendo presente variables del carbono fijado, Materia orgánica del suelo y

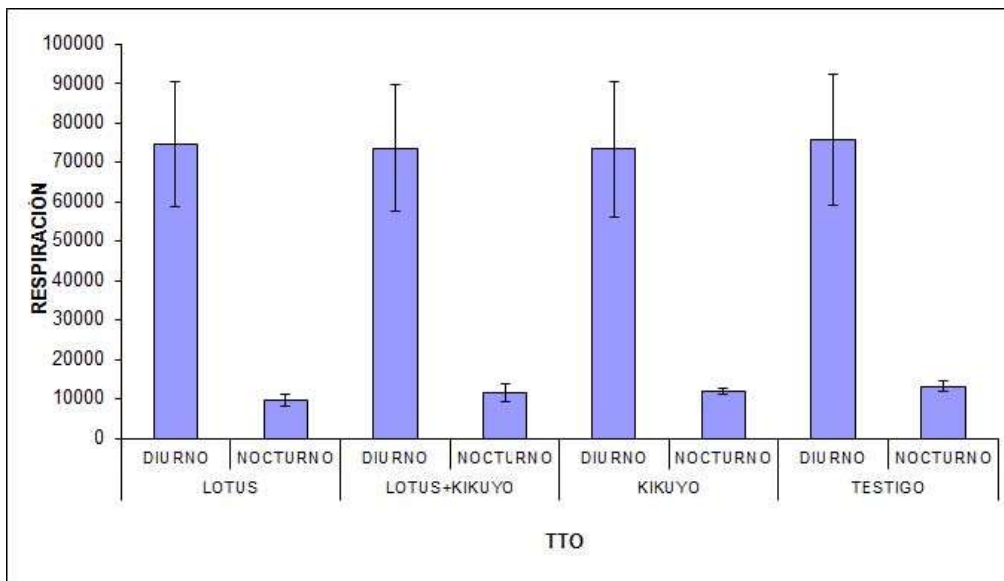
materia orgánica de la vegetación (respirado). Este análisis se complementa aplicando geo estadística (empleo de Arc Gis) como simulación construyendo perfiles de acumulación de carbono por cada tratamiento.

**RESULTADOS PARCIALES**

La investigación en curso ha permitido evaluar algunos estimativos sobre compartimentalización de carbono y respiración del suelo.

En cuanto al almacenamiento de carbono por combustión seca, hasta donde se ha logrado avanzar el valor mayor se concentra en el tratamiento 4 testigo a una profundidad entre 30 a 60 cm; este resultado se relaciona con la madurez de la especie y el manejo dado que comparado con los demás tratamientos no se efectúan prácticas de renovación ni adición de fertilizantes.

Con respecto al comportamiento respiratorio del suelo en el área de estudio a través de comparaciones entre las medias por cada cobertura y período (diurno y nocturno) con una confiabilidad del 95%; tal situación puede ser observada en el Gráfico 2 en donde es posible inferir diferencias significativas entre período más que entre cobertura. Se aclara que estos valores obtenidos son parte de un rango o umbrales de productividad.



**Gráfico 2. Actividad respiratoria del suelo para 4 tratamientos en ecosistemas altoandinos.**

En este sentido, los períodos diurnos se diferencian por menores y mayores valores entre 73.438 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> y 75.940 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, representados por los tratamientos 3 *Pennisetum clandestinum* y 4 testigo, respectivamente; estos datos son paralelos a registros climáticos promedio como temperatura del suelo de 17.7°C y una humedad del suelo de 36.12 %.

Comparado con los períodos nocturnos cuyos valores menores y mayores oscilan entre 9.645 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> y 13.166 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, representados por los tratamientos 1 *Lotus uliginosus* y 4 testigo, respectivamente. Estos datos se presentan con una temperatura del suelo promedio de 14,17° C y una humedad del suelo de 50,89 %.

El primer acercamiento para evaluar la respiración del suelo permite concluir como se mencionó en la aseveración anterior diferencias marcadas entre períodos más que cobertura, confirmando que existe una producción de CO<sub>2</sub> de día, tal como lo afirma Jong et. al (1972) es justo en este intervalo en el que ocurre la respiración y el reporte de la máxima tasa debe estar entre 1.5 a 2 de tiempo con respecto a la nocturna.

Por otro lado, la relación entre la respiración y el pH del suelo el cual oscila entre 5.4 a 5.8 para los 4 tratamientos sin representar diferencias significativas. De acuerdo con Gaucher (1971) esto se debe a que el pH actúa sobre las proporciones relativas del CO<sub>2</sub> libre y de CO<sub>2</sub> compuesto: se afirma que pH ácidos entre 5 a 6 mantienen una elevada proporción de CO<sub>2</sub> libre, a diferencia de pH alcalinos que favorecen la fijación de CO<sub>2</sub> combinado y disuelto; en este sentido, los valores son muy altos para CO<sub>2</sub> libres.

**PERSPECTIVAS DEL TRABAJO**

El potencial del contenido de carbono en suelos cultivados en pasturas permite orientar procesos de temporalidad, espacialidad y relaciones entre variables físicas y de manejo de los suelos en ecosistemas altoandi-

### III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

nos.

Las lecturas faltantes por analizar sobre acumulación de carbono a través de isótopos permitirán evaluar las transformaciones de los residuos orgánicos frescos en materia orgánica del suelo y sus distintas fracciones como indicador para evaluar los cambios asociados a labranza u otros tipos de manejo, usos y capacidad productiva del suelo; de allí la importancia de su análisis.

De otra parte, los resultados de los flujos de emisión a través de la tasa de intercambio (FT) del gas en la superficie del suelo, entre el suelo y la atmósfera y su relación con la actividad respiratoria, climática y propiedades químicas permiten inferir diferencias entre tratamientos así como establecer afirmaciones válidas sobre la eficacia o no del método empleado.

Con respecto a la actividad celulolítica es posible explicar entre otras las tasas de mineralización e incorporación de materia orgánica factor explicado por la génesis de suelos derivados de ceniza volcánica y su incidencia en la relación C/N.

Con los datos señalados es posible evaluar la compartimentalización del carbono dentro del ciclo global en sistemas de pastizales; representado a través de flujos netos de emisión y acumulación; como herramientas para incidir en procesos de toma de decisiones relacionadas con estrategias de adaptación al cambio climático y en la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan sugerir mecanismos de remediación del suelo y modular las formas y modos de producción hacia el bienestar ambiental, animal y sociocultural.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta M. - Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal agrícola de ladera de México. Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 121 p. 2003.

Albrecht A Kandji ST. - Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Env.* 99:15-27. 2003.

Balesdent J., Chenu C. - Balabane M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215-220. 2000.

Balesdent J., Arrouays D. - Usage des terres et stockage du carbone dans les sols du territoire français (1900-1999) *C.R. Acad. Agric. Fr* 85 (6): 265-277. 1999

Batjes NH. - Management options for reducing CO<sub>2</sub>- concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. *ISRIC. Wageningen, The Netherlands.* 114 pp. 1999.

Batjes NH. - Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47: 151-163. 1996.

Batjes NH. y. Sombroek WG. - Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biology* 3(2): 161-173. 1997.

Blaxter KL, Clapperton JL. - Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British journal of nutrition* 19: 511-522. 1965.

Bravo C y Florentino A. - Nivel de cobertura, conservación y aguas bajo diferentes sistemas de labranza. *Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay* 25: 57-74. 1999.

Caballero LM.; Sanchez LE. - Actividad biológica y celulolítica como contribución al índice de calidad de sitio del Pinus de patula en la región de Neusa, Cundinamarca. Tesis de grado de Ingeniería Forestal. Bogotá. 1985.

Caballero LM.; Sanchez LE. - Acción de Eucaliptus globulus, Pinus radiata y ocho especies nativas del alto andino sobre el suelo, Cundinamarca. Tesis de grado de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1986.

Campbell Bruce M; IJ. Gordon MK, Luckert L Petheram, S Vetter. In search of optimal stocking regimes in semi-arid grazing lands: One size does not fit all. *Ecological Economics* 60: 75-85. 2006.

Chu, H., Hosen Y., K. Yagi. - "NO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes in winter barley field of Japanese Andisol as affected by N fertilizer management". *Soil Biology and Biochemistry.* 39: 330-339. 2007.

Corporación colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica), Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR). - Estudio técnico para la propuesta de declaratoria como área protegida del predio Tibaitatá. Mosquera. 2008.

Esquivel E. - Uso de suelo y almacenamiento de carbono en dos comunidades del municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. Tesis. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 136 pp. 2005.

FAO/IFAD. - Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. *World Soil Resources Reports* 86. 1999.

Field C.B., Fung IV. - The not-so-big U.S. carbon sink. *Science* 285: 544-545. 1999.



### III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

- Fujisaka S., Castilla C., Escobar G., Rodríguez V., Veneklass E., Thomas R., Fischer M. - The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 69: 17-26 1998.
- Haber W. - Okologische untersuchung der bodenatmung. *Flora* 146. p. 109-157. 1958.
- Houghton, R.A., Hackler, J.L., Lawrence, K.T. The U.S. carbon budget: contributions from land-use change. *Science* 285: 574-577. 1999.
- Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Gobernación del Departamento de Cundinamarca. Departamento de Cundinamarca – Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Bogotá, D.C. 2000.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC-TAR. - Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). - Climate Change. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the IPCC. Plenary XXVII. Valencia, Spain, 12-17 November. 2007.
- Jong E., Schappert H. - Calculation of soil respiration and activity from CO<sub>2</sub> profiles in the soil. *Soil Sci.* Vol. 113. p. 328-333. 1972.
- Kucera C; Kirkham D. - Soil respiration studies in tallgrass prairie Missouri. *Ecology* 52. p. 912-915. 1971.
- Lal R., Kimble JM., Follet RF., Cole CV. - The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 128pp. 1998a
- Moraes JL., Seyler F., Cerri CC. & Volkoff, B. - Land cover mapping and carbon pools estimates in Rondonia, Brazil. *Int J. Remote Sensing* 19: 921-934. 1998.
- Organización para agricultura y la alimentación, FAO. - La evaluación del almacenamiento del carbono en el suelo y los principales cambios. UN Food and Agriculture Organization [www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s06.htm](http://www.fao.org/docrep/005/Y2779S/y2779s06.htm) (15/06/2006). 2006.
- Organización para agricultura y la alimentación, FAO. - Captura de Carbono en los Suelos para un mejor manejo de la Tierra. En: Informes sobre recursos mundiales de suelos. Cap. 3. ISBN 92-5-304690-2. 73. 2002
- Paustian K., Elliot ET., Killian K. - Modeling soil carbon in relation to management and climate change in some agroecosystems in Central North America. In: *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A. (eds). CRC Press. Boca Raton, FL. p. 459-471. 1998b
- Passionato CC. - Emisao de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e NO em diferentes práticas de manejo para a recuperacao de pastagens no estado de Rondonia, Brasil. Piracicaba, SP (Brazil). pp.88. 2004.
- Puget P., Chenu C., Balesdent J. - Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46: 449-459. 1995.
- Robertson GP., Paul EA., Harwood RR. - Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Sciences*. 289: 1922-1925. 2000.
- Rondón MA., Thomas R. - Piston-action ball mill for the rapid prepreparation of plant and soil samples for the automated analysis of nitrogen ((15) N and carbon ((13)C). *Communications an Soil Sciences and Plant Analysis (USA)*. 25: 435-445. 1994.
- Smith KA., Clayton H., McTaggart IP., Thomson PE., Arah JRM., Scott A., Goulding KWT., Monteith JL., Phillips VR. - The measurement of nitrous oxide emissions from soil by using chambers. *Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering*. Vol. 351. No. 1696. The Exchange of Trace Gases between Land and Atmosphere. pp. 327-338. 1995.
- Tian G, Kang BT, Kolawole GO, Idinoba P, Salako FK. - Longterm effects of fallow systems and lengths on crop production and soil fertility maintenance in West Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*. 71: 139-150. 2005.
- Trumbmore SE., Davidson E.A., Barbosa de Camargo P., Nepstad DD., Martinelli LA. - Belowground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles* 9: 515-528. 1995.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). - Climate change, small island developing states. 11th meeting, Montreal. Climate change secretariat (UNFCCC), Bonn, Germany. 2005.
- Van Noordwijk M., Cerri C., Woomer P.L., Nugroho K., Bernoux M. - Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma* 79: 187-225. 1997.
- Vogt KA, Vogt DF, Palmiotto PA, Boon P, O'Hara J, Asbjørnsen H. - Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant Soil* 187: 159- 219. 1996.
- Weissenberg H. - Die mikroorganismenatitgkeit auf rohumushaltigem. Heidesand gemessen an der CO<sub>2</sub> produktion. *Z. Pflanzenernahrung. Dung Boderkde* 66. p 227-239. 1954.
- Wiant H. Influence of temperature on the rate of soil respiration. *J. forest* 65. p. 489-490. 1967.
- Witkamp M. - Decomposition leaf litter in relation to environment microflora microbial respiration. *Ecology*, vol. 47. No. 2. 1966.

### III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Young A. - Soil monitoring: a new basic task for soil surveys, Soil Use and Management 7: 126- 130. 1991.

#### AGRADECIMIENTOS

A Olga Lucía Mayorga, Química. PhD. Corpoica. Director externo.

A Julio Beltrán, Director Interno. Coordinador Maestría en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental. Universidad Francisco José de Caldas.

A Luis Martín Caballero, Codirector, Biólogo, Químico. Universidad Nacional de Colombia.

A Libardo por la asistencia técnica.

A Alexis Zambrano, Asesor Científico. Lic. Químico. Master en Ciencias del Suelo. Profesor Agregado Universidad de Los Andes Mérida Venezuela. Laboratorio de Investigaciones y Análisis Químicos, Industriales y Agropecuarios (LIAQIA), Facultad de Ciencias. Departamento de Química, Universidad de Los Andes. Mérida 5101, Venezuela.

A los Estadísticos Rubén Medina de CENICAFE; Jorge Arguelles y Guillermo Carvajal de Corpoica por el gran apoyo brindado en Estadística.

Al Ingeniero Alvaro Botero Muñoz, Asesor en SIG.

A los Docentes de la Universidad Nacional de Colombia Germán Afanador y Edgar Cárdenas; los Doctores Edgar Villaneda de Corpoica.