

**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN DIFERENTES USOS DE SUELO EN EL  
MUNICIPIO DE PASTO**

**DAYANA MARCELA MALES CASTRO  
ÁNGELA NATALIA ORTÍZ ARTEAGA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2017**

**CUANTIFICACIÓN DE CAPTURA DE CARBONO EN DIFERENTES USOS DE  
SUELO EN EL MUNICIPIO DE PASTO**

**DAYANA MARCELA MALES CASTRO  
ÁNGELA NATALIA ORTÍZ ARTEAGA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:**

**INGENIERO AGROFORESTAL**

**Presidente**

**JESÚS GEOVANNY SOLARTE. I.AF. M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL  
SAN JUAN DE PASTO**

**2017**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”**

**Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966,  
emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad  
de Nariño.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma Presidente**

---

**Firma Jurado**

---

**Firma Jurado**

## **AGRADECIMIENTOS**

Especialmente a Dios y Nuestras Familias por su apoyo durante toda nuestra carrera

A Jesús Geovanny Solarte, IAF, McS, presidente de Tesis

A los jurados Iván Andrés Delgado, IAF, McS; William Ballesteros Possú, IAF, McS, Ph.D; docentes del Programa de Ingeniería Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

A la Universidad de Nariño, A la Facultad de Ciencias Agrícolas, al Programa de Ingeniería Agroforestal y Laboratorios Especializados

Y a todas las personas que de una y otra forma nos colaboraron y apoyaron en el desarrollo de esta investigación.

## ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN DIFERENTES USOS DE SUELO

### CARBON STORAGE IN DIFFERENT SOIL USES<sup>1</sup>

Dayana Marcela Males Castro<sup>1</sup>, Ángela Natalia Ortiz Arteaga<sup>2</sup>, Jesús Geovanny Solarte<sup>3</sup>,  
Iván Andrés Delgado<sup>5</sup>, William Ballesteros Possú<sup>6</sup>

#### RESUMEN

Este estudio se realizó en la microcuenca Mijitayo, municipio de Pasto a una altitud de 2850 msnm, con coordenadas 1° 11' 19.49" N y 77° 18' 26.12" O. El objetivo fue cuantificar el carbono almacenado en cuatro usos del suelo y diferentes profundidades. Se realizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con arreglo bifactorial, Factor A: usos del suelo (pasturas naturales, cercas vivas, bancos forrajeros y cultivo de papa) y Factor B: dos profundidades (30 cm y 60 cm), con tres replicaciones. Para determinar el porcentaje de carbono en el suelo se utilizó la metodología de MacDiken, que consiste en estimar el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo completa o de alguna de sus fracciones. Se encontraron diferencias significativas marginales en los usos del suelo ( $Pr > F = 0,0573$ ); entre las profundidades de 30 y 60 cm se encontraron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0061$ ). Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la interacción uso del suelo por profundidad ( $Pr > F = 0,0659$ ). El banco forrajero presentó un mayor contenido de carbono orgánico ( $139,85 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a 60 cm de profundidad y el cultivo de papa ( $63,32 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a profundidad de 30 cm mientras que, en ambas profundidades la pastura natural reportó menores valores ( $54,45$  y  $60,02 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

<sup>3</sup> IAF, McS Docente. Programa de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

<sup>5</sup> IAF, McS Docente. Programa de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

<sup>6</sup> IAF, McS, Ph.D Docente. Programa de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia.

**Palabras clave:** Arreglos agroforestales, monocultivo, carbono orgánico, interacción.

### **ABSTRACT**

This study was carried out in the Microcuenca Mijitayo, municipality of Pasto at an altitude of 2850 masl, with coordinates 1° 11 "22.69" N and 77 ° 18 "26.12" O. The objective was to quantify the carbon stored in four soil uses and different depths. A randomized complete block design (BCA) was performed with bifactorial arrangement, Factor A: soil uses (natural pastures, live fences, forage banks and potato crop) and Factor B: Two depths (30 cm and 60 cm), with three replications. To determine the carbon stored in the soil the methodology of MacDiken, (1997) was used. This methodology consists in estimating the total organic carbon content of a sample of soil. Significant marginal differences were found in soil uses ( $Pr > F = 0.0573$ ); between the depths of 30 and 60 cm significant differences were found ( $Pr > F = 0.0061$ ). However, no significant statistical differences were found in the interaction use of soil by depth ( $Pr > F = 0.0659$ ). The forage bank presented higher organic carbon content (139.85 TC.) ( $\text{Ha}^{-1}$ ) at 60 cm depth and potato monoculture (63.32 tc.  $\text{Ha}^{-1}$ ) at depth of 30 cm, while in both depths the natural pasture reported lower values (54.45 and 60.02 tc.  $\text{Ha}^{-1}$ )

**Keywords:** Agroforestry arrangements, monoculture, organic, carbon, interaction.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1 Localización.....	13
2.2 Criterios para la selección de fincas.....	13
2.3 Antecedentes y descripción actual de los diferentes usos de suelo evaluados .....	13
2.4 Diseño Experimental.....	14
2.5 Determinación de almacenamiento del carbono orgánico en el suelo (COS). .....	15
2.5.1 Fase de muestreo en campo .....	15
2.5.2 Fase de laboratorio.....	15
2.2 Análisis estadístico .....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	17
CONCLUSIONES.....	25
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	25



**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Descripción de usos del suelo para la determinación de carbono almacenado en dos profundidades (30 y 60cm). .....	14
Tabla 2. Análisis de varianza para la cuantificación de carbono en diferentes usos y profundidades del suelo. ....	18

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Carbono almacenado en diferentes usos del suelo (Banco forrajero, Monocultivo de papa, cerca viva y pastura natural).....	18
Figura 2. Carbono almacenado en el suelo a dos profundidades (30 y 60cm). .....	22
Figura 3. Carbono almacenado en interacción uso del suelo por profundidad. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).....	24

## 1. INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, es el gas de efecto invernadero (GEI) más perjudicial producido por las actividades antropogénicas como la deforestación y la quema de combustibles fósiles; actualmente las emisiones de estos gases han aumentado de manera constante, las estimaciones más recientes a nivel mundial corresponden al 2014, donde el total de los GEI alcanzaron cerca de 52,7Gt CO<sub>2</sub>, de las cuales 3,5 Gt CO<sub>2</sub> fueron causadas por deforestación y 35,5 Gt CO<sub>2</sub> por combustibles fósiles e industria (PNUMA, 2015).

Colombia emite 240 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, que corresponde al 0,46% del total mundial. Estas emisiones son, causadas principalmente por el uso del suelo, el cambio de uso del suelo y las actividades forestales (LULUCF) (54,2%), el sector energético (29,2%), y los residuos y procesos industriales (16.7 %) (IDEAM *et al.*, 2015).

En la Conferencia de las Partes (COP 21) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) se llegó a un acuerdo con el propósito de evitar un aumento de la temperatura global promedio por encima de los 2°C. En este contexto, Colombia se ha propuesto abordar la problemática del cambio climático, comprometiéndose a reducir el 20% de sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030. Para cumplir con este propósito se ha propuesto aumentar las áreas protegidas, formulación de planes nacionales y la implementación de instrumentos de manejo del recurso hídrico, buscando iniciar la extensión agropecuaria orientada a la eficiencia en el uso de recursos (agua, suelos y fertilizantes), promoviendo sistemas alternativos de producción mediante la implementación de sistemas agroforestales (sistemas silvopastoriles) (Arbeláez *et al.*, 2015).

En el departamento de Nariño, la mayoría de municipios desarrollan actividades agrícolas y ganaderas. En los últimos años se ha incrementado la concentración de GEI, procedentes de la fermentación entérica, el manejo inadecuado del estiércol, el consumo de combustible fósil, el uso de pesticidas y fertilizantes nitrogenados; sin embargo, no existen investigaciones, ni referentes teóricos regionales sobre el tema que permitan tener una visión real de la situación (León *et al.*, 2012).

Por tal razón, es necesario mitigar el cambio climático y sus posibles efectos en presentes y próximas generaciones, lo cual es un reto primordial para la economía y la ciencia dedicada a la conservación del medio ambiente. Una forma de contrarrestar dicho fenómeno radica en reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> mediante la implementación de sistemas agroforestales, los cuales capturan este compuesto de la atmósfera y lo almacenan en la biomasa aérea, subterránea y en el suelo, manteniéndolos por largos periodos de tiempo (Gayoso y Guerra 2005).

Con la presente investigación se cuantificó el carbono orgánico almacenado en cuatro usos de suelo (pasturas naturales, cercas vivas, bancos forrajeros y cultivo de papa) a 30 y 60cm de profundidad.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Localización

Este estudio se realizó en la microcuenca Mijitayo, localizada en el municipio de Pasto; con coordenadas 1° 11'19.49" LN y 77° 18'26.12" LO, a una altura de 2850msnm, con una precipitación promedio anual de 840 mm, temperatura de 12 a 13°C y una humedad relativa del 87,4%. Los suelos son andisoles, de origen volcánico, de textura arcillosa a franco limoso, pH de 5.6, materia orgánica de 9,9% con 0,40% de nitrógeno (N) (Mera y Zamora 2007). Según Holdrige, (2000) el sitio pertenece a la zona de vida bosque seco Montano Bajo (bs-MB).

### 2.2 Criterios para la selección de fincas

La selección de las fincas se hizo mediante visitas de campo, teniendo en cuenta algunos criterios como: autorización por parte de propietarios de los predios, sitios accesibles para la toma de muestras y que las especies arbóreas tengan edades mayor a 5 años y que sean similares en el mismo uso de suelo.

### 2.3 Antecedentes y descripción actual de los diferentes usos de suelo evaluados

Las características que se encontraron en los diferentes usos del suelo ayudaron a mantener un patrón de estudio más uniforme, permitiendo así disminuir el error experimental, dando resultados más evidentes y comparables entre sí. Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionaron los diferentes sistemas productivos (Tabla 1).

Con respecto a los usos de suelo seleccionados, el banco forrajero con acacia (*A. decurrens*) tiene una edad aproximada de 10 a 15 años, en los primeros tres años tuvo un manejo silvicultural. En el área que está establecido el cultivo de papa (*S. tuberosum*) de variedad parda, durante años atrás (10 años) se ha mantenido una rotación de cultivos con rastrojos, pastos, y entrada ocasional de ganado. El arreglo agroforestal de cercas vivas compuesta por especies de aliso (*A. acuminata*) tienen aproximadamente 7 años, anteriormente a

estado establecido pastos y entrada de ganado. La pastura natural por su parte no ha tenido manejo alguno.

**Tabla 1.** Descripción de usos del suelo para la determinación de carbono almacenado en dos profundidades (30 y 60cm).

Uso del suelo	Especie	Edad	Distancia de siembra	Densidad de siembra
Banco forrajero	Acacia ( <i>Acacia decurrens</i> J.C. Wendl Willd)	10 – 15 años	1 * 1 m	10.000 árboles/ha
Cultivo de papa	Variedad parda ( <i>Solanum tuberosum</i> L.).	4 a 5 meses	30 * 50 cm	6.666 plántas/ha
Cercas vivas	Aliso ( <i>Alnus acuminata</i> H.B.K)	7 años	1,5 * 1,5 m	267 árboles/ha
Pastura natural	Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	3 años	Indeterminada	Densa

Fuente: Este estudio

## 2.4 Diseño Experimental

Se realizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con Arreglo Bifactorial. Factor A: diferentes usos del suelo (bancos forrajeros, cultivos de papa, cercas vivas y pasturas naturales) y el Factor B: diferentes profundidades (0-30 y 30-60cm) con tres repeticiones cada uno. La combinación resultó en 8 tratamientos.

**T1:** Banco forrajero a profundidad de 30cm

**T2:** Banco forrajero a profundidad de 60cm

**T3:** Monocultivo de papa a profundidad de 30cm

**T4:** Monocultivo de papa a profundidad de 60cm

**T5:** Cercas vivas a profundidad de 30cm

**T6:** Cercas vivas a profundidad de 60cm

**T7:** pastura natura a profundidad de 30cm

**T8:** pastura natural a profundidad de 60cm

## **2.5 Determinación de almacenamiento del carbono orgánico en el suelo (COS).**

### **2.5.1 Fase de muestreo en campo**

La selección de parcelas se determinó con base a cada uso del suelo (Pasturas naturales, cercas vivas, bancos forrajeros y cultivos de papa (*S. tuberosum*), donde cada uno se consideró como un sitio homogéneo e independiente (unidad de muestreo). Los muestreos se realizaron en 12 áreas diferentes a dos (2) profundidades con un muestreo aleatorio (Moreno y Lara, 2003).

Para determinar el carbono orgánico en el suelo (COS), se tomó la metodología de Moreno y Lara, (2003) que consiste en tomar 3 muestras de suelo, extraídas en tres niveles de profundidad (0-15, 15-30, y 30-45cm); sin embargo, en esta investigación se modificó a un muestreo con dos (2) profundidades (30 y 60cm), en parcelas de 50m<sup>2</sup>, donde se tomaron 3 submuestras por cada uno de los tratamientos. Se realizó la homogenización de las mismas para obtener una muestra final de 500gr de suelo. Posteriormente, se almacenaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas y selladas. Estas muestras se enviaron a Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño para su análisis.

### **2.5.2 Fase de laboratorio**

En esta fase se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

**Densidad aparente del suelo.** Para determinar el contenido de carbono, fue necesario conocer la densidad aparente del suelo, para ello se utilizó el método de la probeta

graduada con muestras sin perturbar, obteniendo el peso de los sólidos y el espacio poroso. Obtenidos estos pesos se calculó con la siguiente fórmula (IGAC, 1979):

$$D_a \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{P_{vs} - P_v}{P_w}$$

Dónde:

**Da:** Densidad aparente

**Pvs:** Peso probeta + suelo: 16,23g

**Pv:** Peso probeta vacía: 15,09g

**Pw:** Volumen aparente ocupado por el suelo (ml)

**Porcentaje de carbono orgánico en el suelo (%C).** El porcentaje de carbono orgánico en el suelo (%C) se estimó por el método de Digestión vía húmeda o método de MacDiken, (1997) propuesta por Walkley y Black (1934); obteniendo el carbono orgánico total de una muestra de suelo completa o de alguna de sus fracciones mediante la siguiente expresión:

$$\%CO = \frac{(L_m * V_f)}{(p_m * 10.000)} * \frac{(100 + p_w)}{100}$$

Dónde:

**CO:** Carbono orgánico del suelo (%)

**Lm:** Lectura muestra en ppm de la curva de calibración

**Vf:** Volumen final de la solución

**Pm:** Peso de la muestra en gramos

**Pw:** Porcentaje de humedad en el suelo seco a 105°C (factor de corrección de humedad)

**10.000:** Factor de corrección para expresar el resultado en porcentaje.

**Carbono almacenado en los diferentes usos del suelo.** Con base en la profundidad del suelo, el porcentaje de carbono orgánico y la densidad aparente, se estimó el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo con la metodología propuesta por Andrade e Ibrahim (2003):



$$CA \text{ (tC.ha}^{-1}\text{)} = \%CO * da * Ps$$

Dónde:

- CA:** Carbono almacenado  
**%CO:** Porcentaje de Carbono en el suelo  
**da:** Densidad aparente  
**Ps:** Profundidad del suelo

## 2.2 Análisis estadístico

Para establecer qué tipo de uso del suelo y profundidad presentó la mayor cantidad de carbono orgánico almacenado, se realizó un análisis de varianza, ANDEVA. Para los factores que presentaron diferencias estadísticas significativas, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey con una probabilidad del 95%, mediante el programa Statistical Analysis Software (SAS ®).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de carbono orgánico almacenado en los cuatro usos de suelo (Pasturas naturales, cercas vivas, bancos forrajeros y cultivo de papa) en las dos profundidades (30 y 60cm) no se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $Pr > F = 0,0659$ ). Al analizar los diferentes usos de suelo se encontraron diferencias estadísticas significativas marginales ( $Pr > F = 0,0573$ ), lo mismo que en las profundidades estudiadas. ( $Pr > F = 0,0061$ ) (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para la cuantificación de carbono en diferentes usos y profundidades del suelo.

Efecto	Num DF	Den DF	F-V	Pr > F
Uso suelo	3	14	3.18	0.0573
Profundidad	1	14	10.42	0.0061
Uso suelo*profundidad	3	14	3.01	0.0659

Diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

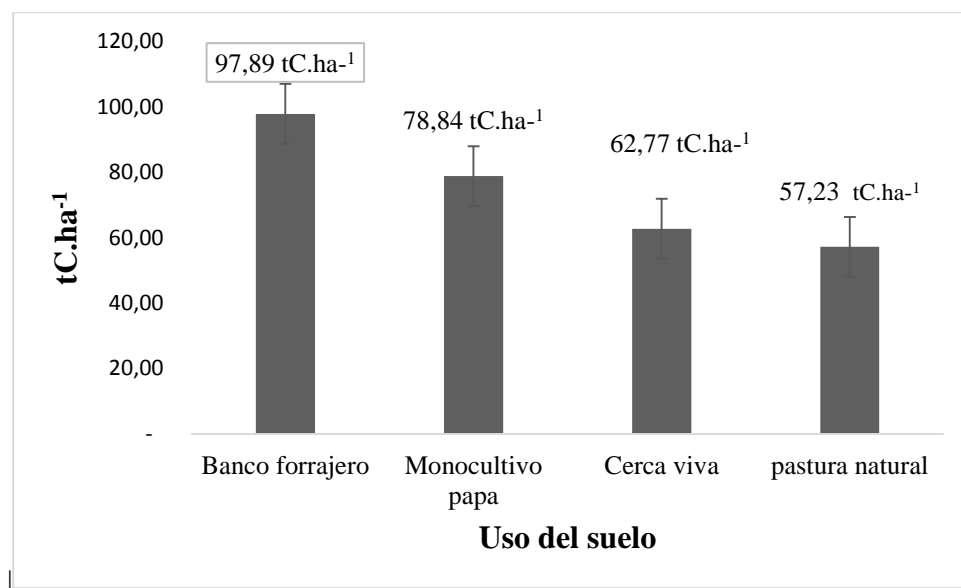


Figura 1. Carbono almacenado en diferentes usos del suelo (Banco forrajero, Monocultivo de papa, cerca viva y pastura natural).

Al analizar los diferentes usos de suelo, se encontraron diferencias significativas ( $Pr > F = 0,0061$ ), evidenciando que los procesos de acumulación de carbono pueden ser diferentes en cada uno de los usos, debido a condiciones ambientales asociadas al tipo de suelo, vegetación, precipitación, temperatura, que con el paso del tiempo presentaron acumulaciones de carbono más bajas (Lorenz y Lal, 2015).

El banco forrajero fue el que mayor cantidad de carbono presentó con  $97,89\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , sin embargo estos valores difieren con el estudio realizado por Giraldo *et al.*, (2008) quienes comprobaron que en un sistema Silvopastoril (SSP) con especies de acacia (*Acacia decurrens*) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) la cantidad de carbono existente fue de  $251\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Esta discrepancia probablemente se debe a la especie arbórea, densidad de siembra, materia orgánica presente en el suelo, edad de los componentes, tipos de suelo, características del sitio, factores climáticos y manejo silvicultural, lo cual permiten mayor acumulación de carbono en el perfil del suelo (Carvajal *et al.*, 2012).

En este sentido, Lorenz y Lal, (2015), aseguran que en bancos forrajeros establecidos en Canadá con 13 años aproximadamente, los depósitos de carbono en el suelo fluctuaron entre  $1,25\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  y en Costa Rica en sistemas de 10 a 15 años con cantidades de  $173\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Estos autores afirman que las condiciones ambientales inciden directamente sobre la acumulación de carbono en la superficie del suelo; además, lo anterior también se puede atribuir a factores como la edad del sistema, al manejo y características fisicoquímicas del suelo.

Ibrahim *et al.*, (2007), reportaron que en estudios de carbono en suelo con bancos forrajeros establecidos en Nicaragua, se obtuvo una cantidad de  $126,58\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , estos resultados fueron mayores a los del presente estudio, debido a la presencia de gramíneas las cuales pueden aportar altas cantidades de materia orgánica y a la densidad de siembra.

De acuerdo a lo anterior, Post y Kwon (2000) afirman que existe una serie de factores que influyen en el COS, como el historial de usos de la tierra, las entradas y salidas de materia orgánica del sistema y el manejo de los mismos, esto puede determinar las tasas de cambio de carbono orgánico bajo el suelo cuando la vegetación y las prácticas de manejo han cambiado, tal como en la eliminación de bosque para establecer pasturas.

En este contexto, los SAF ayudan a evitar el agotamiento de las reservas o almacenamientos naturales de carbono ya existentes. Además, de lograrse mayores concentraciones de COS aumentan la cantidad de biomasa devuelta al suelo, fortalecen la

estabilización de la materia orgánica en el mismo, y conservan la biodiversidad animal y vegetal, ayudando a evitar el agotamiento de los recursos naturales ya existentes, en prácticas como podas e incorporaciones de materiales del sistema al suelo (Lorenz y Lal, 2015).

En el cultivo de papa (*S. tuberosum*), el cual es un sistema de cultivo con rotaciones, se evidencia un alto contenido de carbono almacenado en el suelo ( $78,84\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), esto concuerda con estudios realizados por Paz y Wong, (2015) donde en suelos andisoles, encontraron que los cultivos de papa almacenaron mayor contenido de carbono ( $78$  a  $144\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) que otros cultivos como el de maíz ( $45$  a  $128\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); sin embargo, estos valores pueden variar dentro del ciclo agrícola, cabe señalar que la incorporación de fertilizantes orgánicos fue cercano al tiempo de muestreo por lo que podrían aumentar los contenidos de COS; además, de una rotación con pastos, rastrojos y algunas veces ganado, y se le ha dado un manejo adecuado al suelo evitando actividades de labranza intensiva.

Por lo tanto, dentro de lo realizado en este estudio, las grandes cantidades de C presentes en este uso de suelo, se deben posiblemente a la mortalidad y exudación de las raíces finas, lo cual depende de la distribución y actividad de las mismas, lo que aumentaría la cantidad de carbono en el suelo (Alvarado *et al.*, 2013).

De acuerdo con Verhulst *et al.*, (2015) otras razones por las cuales en este monocultivo se han reflejado altas concentraciones de carbono son debido a su producción intensificada, a un sistema de labranza mínima, a la optimización de insumos agronómicos tales como fertilizantes, riego y plaguicidas, y a rotaciones de cultivo como pastos, rastrojos y algunas veces ganado, acompañada de una práctica de abonado orgánico, donde se encuentra materia orgánica en disgregación; es decir, carbono orgánico del suelo en constante descomposición, siendo la cantidad de materia orgánica proporcional a la cantidad de carbono orgánico en suelos, con un impacto positivo sobre el COS total.

En cercas vivas de aliso (*A. acuminata*); se obtuvieron valores de  $62,77\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; siendo mayores a los encontrados por León *et al.*, (2012) en el mismo arreglo con especies nativas

e introducidas con valores de  $1,13\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $1,73\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Lo anterior posiblemente se debe al tipo de especies establecidas, a la edad y manejo que haya tenido el sistema.

Igualmente, los valores encontrados en este estudio, no coinciden con los reportados por Burbano *et al.*, (2009), en un sistema silvopastoril con aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K), alfalfa (*Medicago sativa* L) y trébol blanco (*Trifolium repens*), reportando mayores cantidades de carbono almacenado en el suelo con  $93,96\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $153,495\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Esto se debe por la diversidad de especies asociadas, y prácticas de podas, riego, fertilización, entre otros aspectos técnicos.

Sin embargo, este estudio reporta mayor cantidad de almacenamiento de carbono en el suelo, comparado con el realizado por Houghton *et al.*, (1985) donde se estimaron valores de  $16$  a  $48\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  en cercas vivas con especies introducidas respectivamente. Los resultados contrastantes posiblemente se deben a que anteriormente se tuvieron otros sistemas de uso del suelo de mayor reducción de carbono orgánico, al manejo de la especie y a la edad, debido a que al tener más años, estos tendrían un mayor almacenamiento de carbono en el suelo.

Con relación a la cantidad de carbono encontrada en pastos naturales ( $57,23\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), concuerda con los reportados por Giraldo *et al.*, (2008) en áreas de sólo pasturas, donde se obtuvieron cantidades de  $54\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  de carbono almacenado en el suelo.

En contraste, este estudio no concuerda con lo reportado por Salinas y Hernández, (2007) quienes afirman que cuando el uso del suelo es de pasturas (potreros) se pueden percibir aumentos en el carbono orgánico debido a la alta densidad de raíces en las capas superficiales del suelo, las cuales son de mayor reserva en interacción con el ambiente y el uso del suelo relacionándose con la cantidad de carbono orgánico.

Lo anterior posiblemente se debe a ciertos factores que influyen en el contenido de carbono orgánico en el suelo como lo manifiestan Ibrahim *et al.*, (2007) los cuales son el historial de usos del suelo, las condiciones físicas y biológicas del suelo y la historia de las entradas de material orgánico que pueden determinar las tasas de cambio de carbono bajo el suelo

cuando la vegetación y las prácticas de manejo han cambiado, tal como la deforestación, las labores y usos que se den al suelo.

En el análisis de las diferentes profundidades evaluadas (30 y 60cm) se encontraron diferencias estadísticas significativas. Se determinó que los contenidos de carbono en el suelo fueron mayores a profundidad de 60 cm con un promedio de  $90,73\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  mientras que, en la profundidad de 30cm se obtuvo una menor cantidad con  $57,63\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 2).

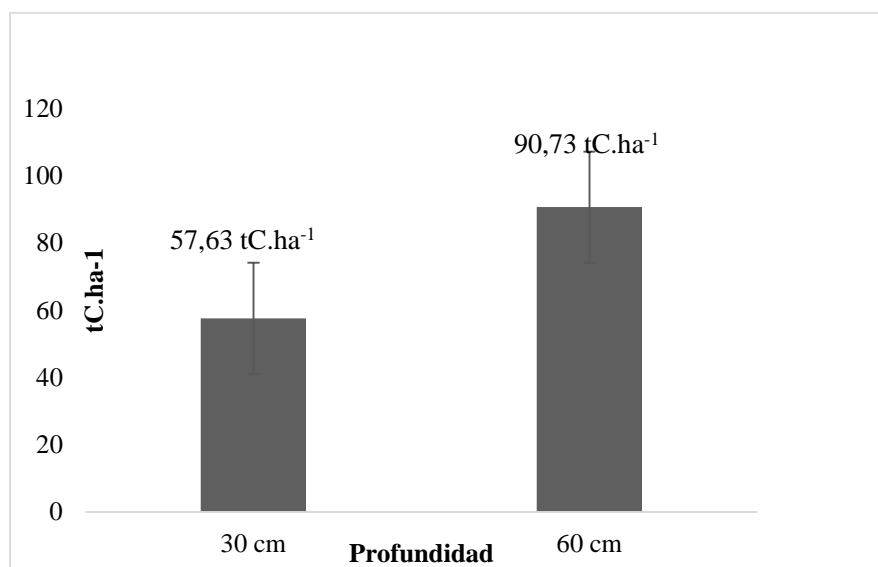


Figura 2. Carbono almacenado en el suelo a dos profundidades (30 y 60cm).

En comparación con otros usos del suelo, estos resultados concuerdan con lo reportado por Burbano *et al.*, (2009) quienes afirman que el sistema silvopastoril en arboles dispersos, el aliso (*Alnus. jurullensis* H.B.K) acumula mayor cantidad de carbono a profundidades de 45 cm con  $153,49\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  disminuyendo a los 30 cm con  $93,96\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Comportamiento que no coincide con lo reportado por Delgado *et al.*, (2016) en un sistema silvopastoril en pastura en callejones con laurel de cera (*Morella pubescens* (Willd.) Wilbur), en San Pablo, Nariño, quienes encontraron mayor cantidad de C de 0 - 15cm de profundidad ( $4,2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), disminuyendo progresivamente a profundidades de 15 - 30 y 30 - 45 cm.

Lo anterior también contrasta con estudios realizados por Carvajal *et al.*, (2009) en paisajes andinos, con suelos volcánicos, quienes encontraron que la profundidad del mismo influyó sobre los contenidos de carbono almacenado en la capa superficial, con tendencia a disminuir hacia capas inferiores, presentándose contenidos de C entre las profundidades de 0 a 10cm y 20 a 30cm con  $5,8\text{tC ha}^{-1}$  en la zona alta,  $10,4\text{tC ha}^{-1}$  en la zona media y  $3\text{tC ha}^{-1}$  en la zona baja de la región; con diferencias altamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Así mismo, el presente estudio difiere con los reportados por Lok *et al.*, (2013) encontrándose el mayor depósito de carbono en suelos a profundidades de 0 a 15cm con  $65,3\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $60,4\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  y  $60,4\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  en tres sistemas ganaderos tropicales en explotación (silvopastoril basado en *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*, monocultivo de *Panicum maximum* y asociación de gramíneas con una mezcla de leguminosas rastreras). De esta manera se concluye que los contenidos de carbono almacenado en el suelo están en función del uso y manejo del suelo y directamente relacionados con el contenido de materia orgánica.

En general, los valores de carbono almacenado hallados en este estudio, con rangos entre  $57,63$  y  $90,73\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , fueron muy inferiores a lo obtenidos por Alvarado *et al.*, (2013) en los primeros 30cm de profundidad en suelos andisoles ( $114\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Esto podría estar indicando que los suelos han sido manejados de manera inadecuada en el pasado, lo cual ha causado pérdidas del carbono orgánico en el suelo (COS) y posibles emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera.

Para esta investigación, la profundidad fue un factor determinante en la acumulación de carbono en el suelo, obteniendo la mayor cantidad a los 60cm. Lo anterior es corroborado por Gutiérrez (2015), quien afirma que el almacenamiento del carbono aumenta a medida que se profundiza en el perfil del suelo, debido a la profundidad radical y a la extracción o remoción de carbono en capas más superficiales por fenómenos naturales y antrópicos, donde las diferencias que se pueden presentar con respecto a las cantidades de carbono almacenadas, pueden variar de un lugar a otro.

Actividades como labranza, podas, talas, aplicación de fertilizantes generan una intervención directa en la dinámica del COS a través de la cobertura vegetal, los cambios en

el uso y las prácticas de manejo; por ejemplo el uso intensivo del arado, acorta el "ciclo de vida" de un macroagregado disminuyendo la formación de nuevos microagregados y la captura de carbono dentro de ellos, promoviendo la liberación de este hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece su acumulación en formas orgánicas en el suelo (Martínez *et al.*, 2008). Por lo cual los menores contenidos de carbono encontrados en la profundidad de 30 cm, no necesariamente se deben a una condición natural, si no por labores que aumenten o disminuyen estos valores que pueden incidir sobre el contenido del sumidero.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en la profundidad de 60cm, el uso del suelo que mayor contenido de carbono almacenó fue el banco forrajero con  $139\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , seguido de este está el monocultivo de papa con  $94,36\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$ , la cerca viva con  $68,7\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  a diferencia de la pastura natural la cual presentó una menor cantidad con  $60,02\text{tC}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 3).

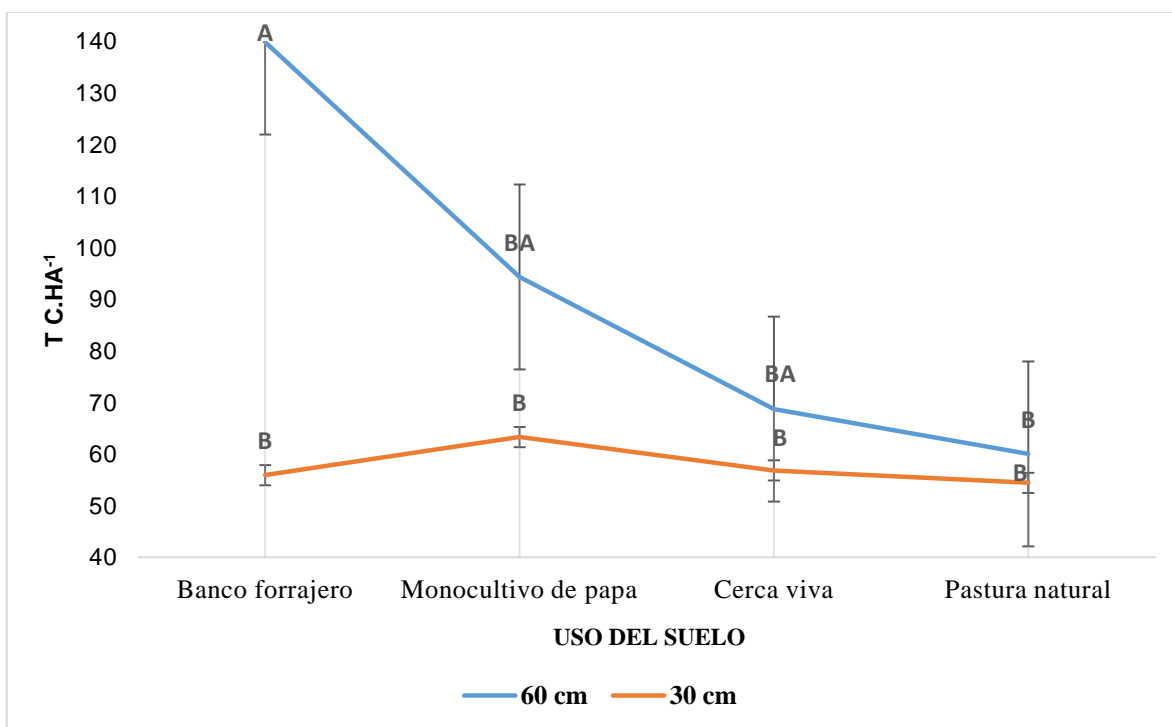


Figura 3. Carbono almacenado en interacción uso del suelo por profundidad. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) y medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).



Por otra parte, a profundidad de 30 cm se encontró que el uso del suelo que presentó mayor contenido de carbono fue el monocultivo de papa (*S. tuberosum*) con 63,32 tC.ha<sup>-1</sup>, seguidamente la cerca viva con 56,84 tC.ha<sup>-1</sup>), el banco forrajero con 55,94 tC.ha<sup>-1</sup>, la pastura natural también reportó menores valores con 54.45 tC.ha<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

En los diferentes usos del suelo analizados, se encontraron diferencias estadísticas significativas marginales, siendo el banco forrajero, el que presentó mayor cantidad de carbono, a diferencia de la pastura natural, la cual fue menor frente a los demás usos del suelo evaluados.

En las profundidades de 30 y 60cm las diferencias fueron significativas en las cuales, se presentó un mayor contenido de carbono en la profundidad de 60cm mientras que, a los 30cm esta disminuyó.

En la interacción uso del suelo por profundidad no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo el banco forrajero presentó mayor cantidad de carbono almacenado a 60 cm de profundidad mientras que, el sistema de cultivo de papa mostró mayores contenidos a profundidad de 30cm. En la pastura natural se reportaron menores valores en ambas profundidades.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANDRADE, H.; IBRAHIM, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. Agroforestería en las Américas. 10(39-40):109 - 116.

ALVARADO, J.; ANDRADE, H.; SEGURA, M. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. Revista Colombia Forestal. Vol. 16. En: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a02.pdf>. Consulta: marzo, 2017.

ARBELÁEZ, G., BARRERA, X., GÓMEZ, R., SUÁREZ, R. 2015. El ABC de los compromisos de Colombia para la COP 21. 2 ed. WWF. Colombia. 31 p.

BURBANO, B., CÓRDOBA, J. y LEÓN, J. 2009. Cuantificación de carbono total del componente aliso (*Alnus jorullensis*) y suelo en arreglos agroforestales, municipio de Pasto, Nariño. Trabajo de grado de Ingeniero Agroforestal. San Juan de Pasto, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. 12 p.

CARVAJAL, T., LAMELA, L. y CUESTA, A. 2012. Evaluación de las arbóreas *Sambucus nigra* y *Acacia decurrens* como suplemento para vacas lecheras en la Sabana de Bogotá, Colombia. Pastos y Forrajes. 35(4):417 - 430.

CARVAJAL, A., FEJOO, A., QUINTERO, H. y RONDÓN, M. 2009. Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 9(3):222 – 235.

CÉSPEDES, F., FERNÁNDEZ, J., GOBBI, J. y BERNARDIS, C. (2012). Reservorio de carbono en el suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. Revista Fitotec. 35 (1):79 – 86.

CONVENCIÓN MARCO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 2015. Plataforma de Durban para una Acción Reforzada (decisión 1/CP.17): Aprobación de un protocolo, otro instrumento jurídico o una conclusión acordada con fuerza legal en el marco de la Convención que sea aplicable a todas las Partes. Naciones Unidas. Paris. Francia. 40 p. En: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>. Consulta: abril, 2017.

DELGADO, I., DAZA, C., LUNA, C., LEONEL, H. y FORERO, P. 2016. Cuantificación de carbono radical *Morella pubescens* (Willd.) Wilbur en dos agroecosistemas Nariño, Colombia. Colombia Forestal. 19(2):209 - 218.

GAYOSO, J., Y GUERRA, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*. 26(2): 33 - 38.

GIRALDO, A., ZAPATA, M. y MONTOYA, E. (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema Silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Revista Archivos Latinoamericana de Producción Animal*. 16 (4):215 - 220.

IPCC. GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 2014. Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. En: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf); Consulta: abril, 2017.

GUTIÉRREZ, M. 2015. Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. En: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50818/1/53120928.2015.pdf>. Consulta: mayo, 2017.

HOLDRIGE, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida. Quinta edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José Costa Rica. 14 p.

HOUGHTON, R., BOONE, R., MELILLO, J., PALM, C., WOODWELL, G., MYERS, N., MOORE, B.; SKOLE, D. 1985. Net flux of carbon dioxide from tropical forests in 1980. *Revista Nature*. 316:617 - 620. Doi:10.1038/316617a0.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. 2015. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá. Colombia. 36 p.

IBRAHIM, M., CHACÓN, M., CUARTAS, C., NARANJO J. PONCE, G., VEGA, P., CASASOLA, F. y 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 de las Américas N° 45. CATIE y CIPAV. 10 p.

IGAC. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1979. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Cuarta edición. Bogotá. Colombia. 70 p.

LEÓN, J., LEÓN, J., y ZAMORA, H. 2012. Estrategias de mitigación ante el cambio climático en fincas ganaderas Altoandinas del departamento de Nariño. Revista Universidad Mariana. UNIMAR. Pasto. Nariño. 16 p.

LOK, S., FRAGA, S. NODA, A., Y GARCÍA, M. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 47(1): 75 -82.

LORENZ, K. y LAL, R. 2015. Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag - EDP, Sciences – INRA. 2:13 p. Doi: 10.1007/s13593-014-0212-y.

MACDICKEN, K. 1997. Una guía para monitorear el almacenamiento de carbono en proyectos forestales y agroforestales. Arlington, EE.UU., International Winrock. 87 p.

MARTÍNEZ, E., FUENTES, J. y ACEVEDO, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. 8(1): 68 - 96.

MERA, A., y ZAMORA, K. 2007. Establecimiento y evaluación inicial de los arreglos árboles dispersos en asocio con pasto kikuyo en el altiplano de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 76p.

MORENO, F. y LARA, W. 2003. Variación del carbono orgánico del suelo en bosques primarios intervenidos y secundarios. Medición de la captura del carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: Contribuciones para la mitigación del cambio climático. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 189 - 213 p.

PAZ, F., y WONG, J. 2015. Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2014. Programa Mexicano del carbono en colaboración

con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, México. 640 p.

PNUMA. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 2015. Informe de 2015 sobre la disparidad en las emisiones. Nairobi. En: [https://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/EGR\\_2015\\_Technical\\_Report\\_ES.pdf](https://uneplive.unep.org/media/docs/theme/13/EGR_2015_Technical_Report_ES.pdf).

POST, W., Y KWON, K. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Revista Global Change Biology* 6:317-327.

SALINAS, Z Y HERNÁNDEZ, P. 2007. Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía. CATIE, Proyecto FORMA. Turrialba, Costa Rica. 234 p.

VERHULST, N., FRANÇOIS, I., y GOVAERTS, B. 2015. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México D.F. En: [http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc\\_view/1504-captura-de-carbono-2015](http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1504-captura-de-carbono-2015).

WALKLEY, A. y BLACK, C. (1934). An examination of the Degtjareff's method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Revista Soil Science*. 37:29 - 38 .