

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT



SISTEMA DE BIBLIOTECAS

**RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LA SUBCUENCA DEL  
RÍO MOLOLOA, NAYARIT**

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:  
Maestría en Ciencias en el Área de Ciencias Ambientales

Presenta:

Lucía Amapola Castillo Pacheco

Tutor: Dr. José Irán Bojórquez Serrano

Co-tutor: Dr. Alberto Hernández Jiménez

Xalisco, Nayarit Febrero 2014

Tepic, Nayarit a 18 de febrero de 2014

DR. J. DIEGO GARCIA PAREDES  
COORDINADOR DEL POSGRADO CBAP  
PRESENTE.

les que suscribimos, integrantes del Consejo Tutorial de la Biól. Lucía Amopola  
Castillo Pacheca, declaramos que hemos revisado la tesis titulada "Reservas de  
carbono orgánico en suelos de la subcuenca del río Mololoa, Nayarit" y  
determinamos que la tesis puede ser presentada por la alumna para aspirar al grado  
de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias con opción terminal en Ciencias  
Ambientales.

ATENTAMENTE  
EL CONSEJO TUTORIAL

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José María Rodríguez Serrano  
Tutor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Hernández Jiménez  
Cotutor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Oyaivi Mena González  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rafael Martín Murray Núñez  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Dr. Diego García Paredes  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Madueño Molina  
Asesor



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/046/14

Xalisco, Nayarit, 24 de febrero de 2014

**Ing. Alfredo González Jáuregui**  
**Director de Administración Escolar**  
**Presente.**

Con base al oficio de fecha 18 de febrero de 2014, enviado por los CC. Dr. José Irán Bojórquez Serrano, Dr. Alberto Hernández Jiménez, Dr. Oyolsi Nájera González, Dr. Rafael Martín Murray Núñez, Dr. J. Diego García Paredes y Dr. Alberto Madueño Molina, donde se nos indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha cumplido con los demás requisitos que pide el Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit, se autoriza a la **C. Lucía Amapola Castillo Pacheco**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Maestría.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**Atentamente**  
**"Por lo Nuestro a lo Universal"**

**Dr. J. Diego García Paredes**  
**Coordinador del Posgrado**

C.c.p.-Expediente.  
Aef.

A ti que me enseñaste a perseverar, a esforzarme cada día  
Por cada libro leído y cada duda resuelta  
Gracias mamá

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Autónoma de Nayarit y a la Maestría en CEBAP por brindarme un espacio de aprendizaje y superación,

Gracias a mis tutores, al Dr. Alberto por todo su entusiasmo y especialmente gracias al Dr. Irán por darme la oportunidad cuando la necesitaba y no dejar que mi rindiera.

Gracias a Fabi y a mi mamá por todo el empuje, el tiempo y el apoyo.

Gracias a mis dos pequeños, a Azu mi niña por recibirme con abrazos cuando volvía cansada, a Isaac porque estuviste dentro de mí en todo este proceso.

Gracias sobre todo a Eu e Is, sin su ayuda, su compañía, su cariño, comprensión y amor nada de esto sería posible, los amo.

## AGRADECIMIENTOS A FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada al primer autor (CVU 447226) para la realización de los estudios de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias en el área de Ciencias Ambientales

## INDICE

INDICE DE TABLAS .....	IX
INDICE DE FIGURAS .....	X
INDICE DE SIMBOLOS O ABREVIACIONES .....	XI
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
RESUMEN GENERAL.....	2
CAPITULO I. RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS BAJO DIFERENTES COBERTURAS .....	4
1.1 RESUMEN .....	4
1.2 INTRODUCCIÓN.....	6
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
1.3.1 <i>Área de estudio</i> .....	8
1.3.2 <i>Selección de sitios de muestreo</i> .....	9
1.3.3 <i>Determinación de COS</i> .....	9
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
1.5. CONCLUSIONES .....	15
1.6 LITERATURA CITADA .....	16
CAPITULO II, CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO BAJO DIFERENTES COBERTURAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLOLOA, NAYARIT.....	19
2.1. RESUMEN.....	19
2.2. INTRODUCCIÓN.....	20
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.3.1 <i>Área de estudio</i> .....	22
2.3.2 <i>Selección de sitios de muestreo</i> .....	23
2.3.3 <i>Determinación de COS</i> .....	24
2.3.4 <i>Análisis de datos</i> .....	25

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
2.4.1 <i>Cambios en COS por tipos de cobertura</i> .....	28
2.4.1.1 <i>Coberturas estables o permanentes</i> .....	28
2.4.1.1 <i>Cultivos</i> .....	29
2.5 CONCLUSIONES .....	33
2.6 LITERATURA CITADA .....	34
OTRAS REFERENCIAS.....	39



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contenido medio de carbono orgánico en suelos por grupos de cobertura y reservas de COS en la subcuenca del río Mololoa, Nayarit.....	13
Tabla 2 Cambios de COS por GRS, Unidades de suelos y cobertura del suelo en la subcuenca del río Mololoa, Nayarit.....	27
Tabla 3 Cambios en COS por coberturas y Unidades de suelos en la subcuenca del río Mololoa, Nayarit.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización de la subcuenca del río Mololoa, Nayarit .....	23
--	----

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS O ABREVIACIONES

- Aag: Arboleda de aguacate  
Be: Bosque de encino  
Bp: Bosque de pinos  
Cñr: Caña riego  
Cñt: Caña de temporal  
COS: Carbono orgánico en suelo  
GRS: Grupo referencial de suelo  
Pt: Pastizal  
T<sub>1</sub>: Datos del suelo en Tiempo 1  
T<sub>2</sub>: Datos del suelo en Tiempo 2  
T ha<sup>-1</sup>: Toneladas de carbono por hectárea  
V: Vegetación

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La cantidad total de carbono orgánico en los Suelos (COS) ha sido estimada por diversos métodos (Swift, 2001) y su valor es cercano a 1.500 Pgen estrato de 0 a 1 m de profundidad (Schlesinger, 1990; Gifford, 1994; Swift, 2001 y FAO, 2001), esto constituye más que la suma de carbono orgánico existente en la vegetación y en la atmósfera (Swift, 2001).

Este elemento se vincula además, con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el Nitrógeno cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes.

En México, varios estudios se han centrado en la determinación de las concentraciones de COS en bosques templados y zonas agrícolas que se encuentran bajo diferentes regímenes de manejo y condiciones ambientales. Entre los puntos sobresalientes de estos estudios, se menciona que las áreas que fueron convertidas de bosque a campos agrícolas presentan menores concentraciones de COS (Gamboa & Galicia, 2012; Vela, López, & Rodríguez, 2012). En suelos de conservación del distrito federal los mayores contenidos de carbono orgánico total en suelos ( $100\text{--}150\text{ t ha}^{-1}$ ) se presentaron en los sitios con vegetación de bosque de pino, mientras que en las zonas agrícolas, se registró una capacidad de retener COS menor ( $<50\text{ t ha}^{-1}$ ) que lo registrado en áreas con vegetación de bosque (Vela *et al.*, 2010).

De acuerdo con el INE (2000), las emisiones totales anuales de carbono en México fueron de 54,353 kt C , de las cuales 30,020 kt C fueron procedentes de las emisiones derivadas de la deforestación y 24,533 kt C correspondieron a emisiones por pérdida de carbono en suelos.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar las reservas de carbono en los suelos de la subcuenca del río Mololoa, que se ubica en la parte central del estado de Nayarit (México), esto mediante dos objetivos específicos: 1) Estimar las reservas de carbono en los suelos de la subcuenca del río mololoa y 2) Determinar los cambios en las reservas de carbono en suelos de la subcuenca entre los años de 1983-2006 a 2013.

## RESUMEN GENERAL

Para el primer objetivo específico se estimaron las reservas de carbón orgánico en suelos (COS) bajo nueve grupos de cobertura de la subcuenca del río Mololoa (618 km<sup>2</sup>) en el estado de Nayarit (México), se establecieron 27 sitios y en cada uno se colectaron muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad con tres repeticiones por sitio. Se determinó la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico del suelo y se calculó el carbono acumulado en la profundidad de muestreo. Existen diferencias significativas en el carbono almacenado en suelos con diversas coberturas vegetales. El contenido de COS fue mayor en los suelos bajo bosque de encino, con un valor medio de 140.49 t ha<sup>-1</sup>, seguido de los suelos bajo pastizales con 99.03 t ha<sup>-1</sup>, y de los suelo bajo vegetación secundaria con 93.30 t ha<sup>-1</sup>; estos dos últimos fueron estadísticamente iguales. Los valores

más bajos se obtuvieron en los suelos sin vegetación con promedio de  $16.31 \text{ t ha}^{-1}$ . Las coberturas de bosque de encino, bosque de pino y de selva mediana son los ecosistemas que resultaron con mayor relevancia para la conservación por almacenamiento de COS.

Para el segundo objetivo específico se trabajó con una base de datos de 14 perfiles de suelo distribuidos a lo largo de la subcuenca realizados entre los años de 1983 a 2003, estos perfiles se muestrearon nuevamente entre marzo de 2012 y agosto de 2013. Las zonas de análisis se dividieron tomando en cuenta grupo de vegetación y uso de suelo, posteriormente se realizó un análisis por diferencia entre ambos periodos de tiempo.

Los suelos en las coberturas vegetales estables, bosque de pino y encino, arboledas de aguacate y pastizales presentaron ganancias en sus reservas de COS, siendo los pastizales los de la mayor tasa con  $2.65 \text{ t ha}^{-1}$  de ganancia por año. Los bosques de pino y encino también obtuvieron ganancias en menor grado con una tasa inferior a  $0.5 \text{ t ha}^{-1}$  por año. Por otro lado los cultivos de caña generan pérdidas en las reservas de COS aunque estas disminuyen cuando los cultivos son transformados a pastizal.

## CAPITULO I. RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS BAJO DIFERENTES COBERTURAS

Lucía Amapola Castillo-Pacheco<sup>1</sup>; J. Irán Bojórquez-Serrano<sup>2</sup>; Alberto Hernández-Jiménez<sup>3</sup>; J. Diego García-Paredes<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Alumna del Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" 63190, Tepic, Nayarit, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" 63190, Tepic, Nayarit, México.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba.

### 1.1 RESUMEN

Por la importancia que tiene el conocimiento de las reservas de carbono para entender mejor su ciclo en los ecosistemas, se estimaron las reservas de carbón orgánico en suelos (COS) bajo nueve grupos de cobertura de la subcuenca del río Mololoa (618 km<sup>2</sup>) en el estado de Nayarit (México), se establecieron 27 sitios de muestreo y en cada uno se colectaron muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad con tres repeticiones por sitio. En cada punto de muestreo se determinó la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico del suelo y se calculó el carbono acumulado en la profundidad de muestreo (t ha<sup>-1</sup>). Existen diferencias significativas en el carbono almacenado en suelos con diversas coberturas vegetales. El contenido de COS fue mayor en los suelos bajo bosque de encino, con un valor medio de 140.49 t ha<sup>-1</sup>, seguido de los suelos bajo pastizales con 99.03 t ha<sup>-1</sup>, y de los suelo bajo vegetación secundaria con 93.30 t ha<sup>-1</sup>; estos dos últimos fueron estadísticamente iguales. Los valores más bajos se obtuvieron en los suelos sin vegetación con promedio de 16.31 t ha<sup>-1</sup>. Las coberturas de bosque de encino, bosque de pino y de selva mediana son los

ecosistemas que resultaron con mayor relevancia para la conservación por almacenamiento de COS con 931 509, 402 482 y 376 242 ten la subcuenca del río Mololoa, respectivamente.



## 1.2 INTRODUCCIÓN

Entre las funciones principales del suelo está la capacidad de acumular carbono orgánico y retenerlo por largos periodos de tiempo, como parte del ciclo del carbono. A este fenómeno se le conoce como secuestro de carbono, que es parte del fenómeno (COS)(Vergara *et al.*, 2004).

Actualmente, los estudios relacionados con las reservas de COS han adquirido especial importancia, por su contribución en la reducción de cambios en las concentraciones de carbono atmosférico, el cual es considerado el más común y abundante gas de efecto invernadero (Johnson *et al.*, 2001).

El manejo forestal y la conservación de los bosques pueden contribuir a la mitigación del calentamiento global mediante la conservación, secuestro y almacenamiento y concentración del carbono atmosférico. De igual manera, los sistemas agroforestales podrían remover cantidades significativas de carbono de la atmósfera y sus suelos contienen cerca del 40% del total del carbono (Vela-Correa *et al.*, 2012).

El COS afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad (Carter, 2002; Wander *et al.*, 2002), 2) sustentabilidad (Carter, 2002), 3) capacidad productiva (Sánchez *et al.*, 2004) y estructura (Hernández *et al.*, 2007; 2010). Por ello los estudios sobre el potencial del secuestro de carbono en suelo proveen información básica para mejorar la gestión de uso de suelo y las operaciones agrícolas (Cheng *et al.*, 2011).

En consecuencia, para estimar los cambios en la cantidad de carbono almacenado es de interés realizar un diagnóstico que sirva como base para proponer las acciones y manejo que contribuyan al almacenamiento de carbono y a la reducción del calentamiento global.

Existen resultados de reservas de COS asociados a coberturas vegetales con bosques de pino encino (Pérez *et al.*, 2013), bosques tropicales (Hernández *et al.*, 2007; 2013), manglares (Valdez *et al.*, 2011), selvas (García *et al.*, 2009), pastizales y praderas (Céspedes *et al.*, 2012), sistemas agroforestales y cultivos de frutales y granos (Hernández *et al.*, 2007; Murray *et al.*, 2012). Los resultados reportados varían en un rango amplio, debido a las diversas circunstancias en que se evaluaron, así como en las metodologías utilizadas.

Por otra parte, Nájera *et al.* (2010), describieron cambios en los grupos de cobertura y usos del suelos en la zona de estudio, reportan seis Grandes Grupos de cobertura, 12 Grupos y 49 Subgrupos, a los que están asociados 13 usos diferentes del suelo; también reportaron una reducción de las coberturas de bosques y selvas naturales del 0.7% durante el periodo 1995 al 2005, con un cambio de 38.5 a 37.7 % del total de la superficie de la subcuenca del río Mololoa. El objetivo de este trabajo fue estimar las reservas de COS en diferentes grupos de coberturas de la subcuenca del río Mololoa, que involucra 34 localidades de los municipios de Tepic, Xalisco y Santa María del Oro, en el estado de Nayarit.

## 1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.3.1 Área de estudio

La subcuenca del río Mololoa abarca 618 km<sup>2</sup> de la cuenca del río Santiago-Aguamilpa en la parte central del estado de Nayarit, México, se localiza entre las coordenadas UTM extremas X: 498463, 2352070 y X: 536155, 240384. El área de escurrimiento está delimitada por elevaciones de origen volcánico aisladas, principalmente los volcanes San Juan, Coatepec, Tepeltitlic, Sangangüey y la caldera de Tepic (todas ellas originarias del Cuaternario, sobre un basamento del Terciario). La zona en estudio presenta seis ambientes morfogenéticos; Sierra volcánica con laderas escarpadas del volcán San Juan, Escudo volcánico con calderas, Sierra volcánica con estrato volcanes, Lomeríos, Superficies de lomeríos y laderas de la cuenca baja y la Llanura aluvial. Los primeros cinco corresponden a superficies erosivas representadas por sierras y escudos volcánicos, laderas y lomeríos de los volcanes San Juan, Sangangüey y calderas de Tepic y Tepeltitlic; mientras que el último, a la llanura aluvial –valle de Matatipac (Vivanco *et al.*, 2010).

La formación de suelos entre las dos vertientes del río Mololoa es diferente, por un lado el volcán San Juan, y por otro, el volcán Sangangüey. Por el material de origen, los suelos son de carácter ácido y con pómez en la parte del volcán San Juan, y básico, en la parte del Sangangüey. En la parte más inmediata del volcán San Juan se formaron Andosoles, en tanto que los Alisoles se distinguen en las superficies más estables del relieve en la parte del Sangangüey y los Luvisoles se localizan en las superficies intermedias de éste. Se pueden encontrar suelos

Feozems en ambas vertientes de la subcuenca al igual que Cambisoles, principalmente crómicos hacia la vertiente del Sangangüey y háplicos en la vertiente del San Juan. En las partes más altas del San Juan se localizan Regosoles asociados a los Andosoles y en las partes más altas del Sangangüey se ubican Leptosoles, muy poco profundos, sobre roca basáltica y andesitas. Finalmente en partes depresionales, donde hay drenaje deficiente que da lugar a la manifestación del proceso de gleyzación se forman los Gleysoles (Vivanco *et al.*, 2010).

### 1.3.2 Selección de sitios de muestreo

Para la ubicación de los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta los seis paisajes geomorfológicos descritos por Vivanco *et al.*, (2010) y los grupos de cobertura reportados por (Nájera *et al.*, 2010). Con el apoyo del sistema de información geográfica ArcVIEW 3.2 cada paisaje geomorfológico se dividió según los grupos de cobertura presentes y en cada unidad se seleccionaron los sitios de muestreo, con resultado de 27 unidades de muestreo.

Los grupos de cobertura seleccionados para el muestreo fueron el bosque de pino, bosque de encino, áreas cultivadas (cultivos perennes y anuales), matorral, pastizal, selva baja, selva mediana, vegetación secundaria y suelos desnudos.

### 1.3.3 Determinación de COS

Las muestras de suelo se tomaron en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad con tres repeticiones en cada unidad de muestreo. En los mismos lugares de toma de muestra del suelo se hicieron determinaciones de densidad aparente por el método del cilindro (100 cm<sup>3</sup>).

Las muestras de suelo para el análisis de COS se prepararon según el método AS-01 (DOF, 2012), para lo que se secaron al aire y luego se tamizaron con malla 10 de 2 mm de diámetro.

La determinación de la materia orgánica del suelo se realizó a través del método de Walkley y Black (AS-07), el cual se basa en la oxidación de carbón orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado se aplicó como corrección el factor 1.724.

La cantidad de carbono orgánico en suelo se estimó usando la siguiente ecuación (González-Molina *et al.*, 2008):

$$\text{COS} = \text{CO} (\text{Da}) p$$

Dónde:

COS= Carbono orgánico total en suelo por superficie ( $\text{t ha}^{-1}$ );

CO= Carbono orgánico total (%)

Da= Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

p= Profundidad del suelo (cm)

## 1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los contenidos medios de carbono en suelos por grupos de cobertura, superficie y reservas de carbono en la subcuenca del río Mololoa, Nayarit y los resultados estadísticos respectivos. Existen diferencias significativas en el carbono almacenado en suelos con diversas coberturas vegetales. El contenido de carbono fue significativamente mayor en los suelos bajo bosque de encino, ( $140 \text{ t ha}^{-1}$ ), pastizales ( $99.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), y vegetación secundaria ( $93.3 \text{ t ha}^{-1}$ ); siendo estadísticamente iguales en los dos últimos, pero significativamente diferentes del resto de las coberturas. Los valores más bajos se obtuvieron en los suelos sin vegetación con promedio de  $16.3 \text{ t ha}^{-1}$ .

Diversos autores han investigado los efectos del manejo forestal y coberturas vegetales sobre los contenidos de carbono del suelo. Pérez *et al.* (2013), reportaron valores de COS para suelos bajo bosques de pino-encino conservados de  $103 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $39 \text{ t ha}^{-1}$  para bosques desaprovechados y  $13 \text{ t ha}^{-1}$  para bosques perturbados, lo anterior en perfiles de suelo de 1.65 m. En el presente trabajo, en los primeros 30 cm del suelo se registraron valores de  $140 \text{ t ha}^{-1}$  en bosque de encino y  $73 \text{ t ha}^{-1}$  en bosque de pino. Estos valores están por encima de los señalados anteriormente, sin embargo hay que considerar que la cantidad de carbono en un sitio está en función del tipo de suelo, del tipo de vegetación, así como de la densidad de la cobertura vegetal y su distribución.

Los bosques de pino en la zona de estudio se encuentran en terrenos pedregosos con pendientes pronunciadas, al igual que la selva media y selva baja donde se observaron afloramientos rocosos de basalto. Otros estudios referentes a

bosques de pino (Pérez *et al.*, 2013) muestran resultados similares bajo un aprovechamiento moderado. Vela *et al.* (2011), reportaron que los bosques de pino presentaban reservas de más de  $120 \text{ t ha}^{-1}$  a una profundidad de 0-30 cm; además que los suelos forestales reforestados tuvieron mayor contenido de COS y los suelos agrícolas contienen menos de la mitad de COS que los suelos forestales.

Los suelos bajo selva baja y selva media muestran valores relativamente bajos de COS, con 59 y  $46 \text{ t ha}^{-1}$ . (García *et al.*, 2009), mencionan valores de materia orgánica para los primeros 20 cm de profundidad, en suelos de cobertura de selva nublada (vegetación primaria) de  $179.5 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que en selva intervenida (vegetación secundaria) reportaron valores de  $163 \text{ t ha}^{-1}$ . Las cantidades anteriores son equivalentes (si se calcula la cantidad de carbono mediante la relación  $\text{MO}/1.724$ ) a valores de carbono orgánico del suelo de  $104$  y  $94.5 \text{ t ha}^{-1}$ .

En suelos bajo cultivos, el valor de COS en los primeros 30 cm, fue de  $51 \text{ t ha}^{-1}$ . Murray *et al.* (2012) y Hernández *et al.* (2007), reportaron valores entre 18 y  $32 \text{ t ha}^{-1}$ , para condiciones de cultivos en los primeros 20 cm y entre 43 y  $81 \text{ t ha}^{-1}$  hasta una profundidad de 50 cm. Estas cantidades están acordes a las encontradas en este estudio. Sin embargo, García *et al.* (2009), encontraron valores de  $79 \text{ t ha}^{-1}$  en los primeros 20 cm de un suelo bajo cultivo de papa.

Los suelos bajo pastizales poseen un promedio alto de carbono y se atribuye a su capacidad de reciclaje de materia orgánica, sin embargo, la superficie de la cuenca con este tipo de vegetación es baja. Céspedes *et al.* (2012), encontraron contenidos de carbono acumulado a 1 m de  $110.10 \text{ t ha}^{-1}$  en pastizal, mientras que

en el presente estudio se encontraron 99tha<sup>-1</sup> en el estrato de 30 cm. Sin embargo, los últimos autores citados resaltan que el carbono disminuye con la profundidad y más de la mitad del carbono se encuentra en los primeros 20 cm del suelo. Murray *et al.* (2012), estimaron valores más bajos (28 y 48 tha<sup>-1</sup>, en coberturas de pastizales a una profundidad de 0-20 y 0-50 cm, respectivamente).

Tabla 1 Contenido medio de carbono orgánico en suelos por grupos de cobertura y reservas de COS en la subcuenca del río Mololoa, Nayarit.

Grupo de cobertura	No. de muestra	Medias COS (t ha <sup>-1</sup> )	Superficie en la subcuenca (ha)	Reservas de COS (t ha <sup>-1</sup> )
Bosque de encino	18	140.49 a	6,630.43	931,509.111
Pastizal	9	99.03 ab	2,554.28	252,950.348
Vegetación secundaria	11	93.30 ab	881.68	82,260.744
Bosque de pino	7	73.58 bc	5,470.00	402,482.600
Matorral	9	71.63 bd	4,804.34	344,134.874
Selva baja	3	59.47 bd	413.31	24,579.545
Cultivos	18	51.14 bd	22,566.54	1,154,052.860
Selva mediana	3	46.95 bd	8,013.69	376,242.746
Suelos desnudos	2	16.31 c	207.66	3,386.934

Al respecto, García *et al.* (2009) determinaron en pastizal 122 t ha<sup>-1</sup> de carbono en los primeros 20 cm de profundidad, lo cual es congruente con la acumulación de materia orgánica en pastizales, que se da mayormente en los primeros horizontes del suelo.



Aunque los suelos bajo pastizal tienen un contenido alto de carbono, la superficie con esta cobertura es baja y representa sólo 252 950 t de la reserva total. Los suelos sin cobertura tienen un contenido bajo de carbono ( $16.3 \text{ t ha}^{-1}$ ), sin embargo, la superficie en estas condiciones es baja.

Al tener en cuenta la superficie que cada cobertura tiene en la zona en estudio, los suelos cultivados agrícola-mente presentan la principal reserva de COS, con 1 154 052 t y se debe a que la mayor superficie en la cuenca tiene este uso, con cultivo principalmente de caña de azúcar, acompañada con superficies dispersas de aguacate, agave y maíz. Las reservas de COS (931 509 t) bajo bosques de encino representan el segundo lugar, seguida de los suelos bajo bosques de pino con 402 482 t.

Aunque los suelos bajo pastizal tienen un contenido alto de carbono, la superficie con esta cobertura es baja y representa sólo 252 950 t de la reserva total. Los suelos sin cobertura tienen un contenido bajo de carbono ( $16.3 \text{ t ha}^{-1}$ ), sin embargo, la superficie en estas condiciones es baja.

Finalmente, en la subcuenca del río Mololoa las coberturas de bosque de encino, bosque de pino y de selva mediana son los ecosistemas que resultan con mayor relevancia para la conservación por el servicio de almacenamiento de COS que representan de 931 509, 402 482 y 376 242 t, respectivamente

## 1.5. CONCLUSIONES

Por grupo de cobertura el comportamiento jerárquico de las reservas de COS por hectárea en la zona de estudio fue: Bosque de encino> pastizal > vegetación secundaria> Bosque de pino> Matorral> Cultivo perenne>Selva baja > Cultivo anual >Selva media > Suelos desnudos. Desde el punto de vista de la conservación de servicios de almacén de COS en la zona de estudio, fueron las coberturas de bosque de encino, bosque de pino y selva media.

## 1.6 LITERATURA CITADA

Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 4:38-47.

Céspedes F., F. E.; J. A. Fernández, J. A. Gobbi y A. C. Bernardis. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:79-86.

Cheng, H., R. Bai, K. L., C. Zhao, S. Shumai, y L. Min. 2011. Study of loss or gain of soil organic carbon in Da'an region, Jilin Province in China, *Journal of Geochemical Exploration* 112:272-275.

Diario Oficial de la Federación, 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. [recurso electrónico]<http://www.semarnat.gob.mx/node/18> (Consulta: marzo 12, 2013)

FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment (main report). *FAO Forestry Paper* 163. <http://www.fao.org/docrep/013/i1757e.pdf> (consulta: octubre 10, 2013).

García, M., O. Márquez, R. López, y R. Hernández. 2009. Reservas orgánicas y minerales del suelo y su afectación por la deforestación de la selva nublada estado Mérida, Venezuela. *Agricultura Andina* 16:28-38.

González-Molina, L., J. D. Etcheveres-Barra, y C. Hidalgo-Moreno. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia* 42: 741- 751.

Hernández, A., M. Morales, F. Morell, Y. Borges, I. Moreno, H. Ríos, D. Vargas. 2007. Algunos resultados sobre la pérdida de carbono en ecosistemas con suelos ferralíticos rojos lixiviados en clima tropical subhúmedo de Cuba. *Cultivos Tropicales* 28:55-60.

Hernández A., I. Bojórquez, F. Morell, A. Cabrera, O. Ascanio, D. Garcia, A. Madueño y O. Nájera, 2010. Fundamentos de la estructura de suelos tropicales. Universidad Autónoma de Nayarit - Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 80 pp. [http://books.google.com.mx/books/about/Fundamentos\\_de\\_la\\_estructura\\_de\\_suelos\\_t.html?id=UZE6\\_MK79eoC&redir\\_esc=y](http://books.google.com.mx/books/about/Fundamentos_de_la_estructura_de_suelos_t.html?id=UZE6_MK79eoC&redir_esc=y)(consulta: enero 25, 2013).

Hernández-Jiménez, A. 2013. Degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores de la llanura roja de La Habana. *Cultivos Tropicales* 34:45-51

Johnson, D. W., J. D. Knoepp, W. T. Swank, J. Shan, L. A. Morris, D. H. Van Leard, P. R. Kapeluck. 2002. Effects of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. *Environmental Pollution* 16:201-208

Morell Planes, F. y Hernández Jiménez , A. 2008. Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos ferralíticos rojos lixiviados por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. *Agronomía Tropical* 58: 335-343

Nájera- González, O., J. I. Bojórquez-Serrano, J. L. Cifuentes-Lemus, y M.S. Marcelaño-Flores, 2010. Cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca del río Mololoa Nayarit. *Biociencias*, 1(1), pp. 19-29.

Pérez-Ramírez , S., I. M. Ramírez, P. F. Jaramillo-López, F. Pablo, F. Bautista. 2013. Contenido de carbono orgánico en el suelo bajo diferentes condiciones forestales: reservas de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19:157-173.

Sánchez, J. E., R. R. Harwood, T. C. Willson, K. Kizilkaya, J. Smeenk, E. Parker, E. A. Paul, B. D. Knezek, G. P. Robertson. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agronomy Journal* 96:769-775.

Tomlinson, R. W. 2005. Soil carbon stocks and changes in the Republic of Ireland. *Journal of Environmental Management* 76: 77-93.

Vela-Correa, G., J. López-Blanco y M. L. Rodríguez. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas* 77:18-30.

Vergara, M., J. López-Escobar, J. L. Palma, R. Hickey-Vargas, y C. Roeschmann. 2004. Late tertiary volcanic episodes in the area of the city of Santiago de Chile: new geochronological and geochemical data. *Journal of South America Earth Sciences* 17: 227-238.

Vivanco, J. C., J. I. Bojórquez, R. M. Murray, y O. Nájera. 2010. Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Cultivos Tropicales* 31: 32-40.

Wander, M. M., G. L. Walter, T. M. Nissen, G. A. Bollero, S. S. Andrews y D. A. Cavanaugh-Grant. 2002. Soil quality. *Agronomy Journal* 94:23-32.

## CAPITULO II.

### CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO BAJO DIFERENTES COBERTURAS DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MOLOLOA, NAYARIT

#### 2.1. RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estimar los cambios en las reservas de carbono orgánico en suelos (COS) de la subcuenca del río Mololoa, Nayarit; que forma parte de la cuenca del río Santiago-Aguamilpa y en la cual habita más de un tercio de la población del estado. Se trabajó con una base de datos de 14 perfiles de suelo, correspondiente a tres Grupos Referenciales de Suelos (Andosol, Cambisol y Regosol), distribuidos a lo largo de la subcuenca realizados entre los años de 1983 a 2003; estos mismos perfiles se muestrearon nuevamente entre marzo de 2012 y agosto de 2013. Las zonas de análisis se dividieron tomando en cuenta grupo de vegetación y uso de suelo, posteriormente se realizó un análisis por diferencia entre ambos periodos de tiempo y se calcula la tasa de ganancia o pérdida de carbono según el tiempo transcurrido y el tipo de cobertura.

## 2.2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, y desde años anteriores, los estudios relacionados con las reservas de carbono orgánico en suelos (COS) han tomado especial importancia, sobre todo porque los suelos constituyen el mayor reservorio de carbono en la naturaleza (Battle-Bayer *et al.*, 2010), y sus pérdidas o ganancias tienen relación directa con los cambios en las concentraciones del Dióxido de Carbono atmosférico, el cual es considerado el más común y abundante Gas de Efecto Invernadero (Johnson *et al.*, 2001), además el secuestro de carbono constituye la forma más importante para compensar las emisiones de combustibles fósiles que es de 0,4 a 1,2 giga toneladas de carbono por año (Cheng *et al.*, 2011).

De manera general el contenido de materia orgánica del suelo se relaciona íntimamente con las condiciones climáticas y ambientales de cada zona, (Romanya *et al.*, 2007) así como, con la cobertura y composición química de la vegetación presente en cada condición topográfica (Ávila Hernández *et al.*, 2009) esto se ve reflejado directamente con el contenido de materiales finos presentes en los suelos, al mismo tiempo las arcilla y materiales finos del suelo (limo y arcilla) proporcionan protección a la materia orgánica presente en ellos (Romanya *et al.*, 2007).

El suelo es un componente dinámico dentro de los ecosistemas, esto significa que su composición, uso, cobertura y profundidad están en constante cambio, así mismo funciona como bloque de memoria dentro de los ambientes, por lo cual estudiarlo desde diferentes puntos temporales es recomendable (González *et al.*, 2008).

Existen factores que se deben considerar para la determinación cuantitativa en los cambios de los almacenes de COS en el tiempo, siendo los más importantes la correcta medición de la Densidad aparente y la prolijidad con que son eliminados los residuos orgánicos de la muestra (Gonzalez *et al.*, 2008); de igual forma se debe centrar los esfuerzos en analizar los primeros 15 cm de suelo debido a que la distribución de carbono orgánico a diferentes profundidades del suelo se comporta parecido a una curva en forma de J- invertida, donde los más altos reservorios de carbono se encuentra a esta profundidad (Ávila-Henández *et al.*, 2009).

En este trabajo se pretende estimar los cambios en las reservas de carbono en suelos de la subcuenca del río Mololoa entre los años de 1983- 2006 a 2013.



## 2. 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.3.1 Área de estudio

El área de interés, la subcuenca del río Mololoa (Figura 1), se localiza en la parte central del estado de Nayarit, con una superficie de 618 Km<sup>2</sup>, se localiza entre las coordenadas UTM extremas X: 498463, 2352070 y X: 536155, 240384 . Forma parte del sistema hidrológico Lerma- Santiago, cuya área de escurrimiento está delimitada por elevaciones de origen volcánico aisladas, principalmente los volcanes de San Juan (2220 m.s.n.m.), Coatepec, Tepeltitlic y Sangangüey (2180 m.s.n.m.) y hacia la parte baja los márgenes del río presentan una altura entre 920 y 900 metros sobre el nivel del mar (Nájera *et al.*, 2010) La formación de suelos entre las dos vertientes del río son diferentes, tanto por el material de origen (de carácter ácido en la parte del San Juan y básico y ultra básico en la parte del Sangangüey) como por su edad (terciario en el Sangangüey y cuaternario en el San Juan) (Vivanco *et al.*, 2010)

La subcuenca del río Mololoa se divide en 6 diferentes paisajes geomorfológicos de los cuales cinco son ambientes morfogenéticos denudativos: Sierra volcánica con laderas escarpadas del volcán San Juan, Escudo volcánico con calderas, Sierra volcánica con estrato de volcanes, Lomeríos y Superficies de lomeríos; y uno de acumulación: la Llanura aluvial. Los primeros corresponden a superficies erosivas representadas por sierras y escudos volcánicos, laderas y lomeríos de los volcanes San Juan, Sangangüey y calderas de Tepic y Tepeltitlic; mientras que la llanura aluvial pertenece al valle de Matatipac (Vivanco *et al.*, 2010).

En la subcuenca están presentes seis Grandes Grupos de cobertura, 12 Grupos de cobertura y 49 Subgrupos a los que están asociados 13 usos diferentes del suelo (Nájera *et al.*, 2010)

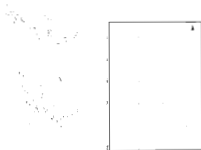


Figura 1 Localización de la subcuenca del río Mololoa, Nayarit

### 2.3.2 Selección de sitios de muestreo

Para el desarrollo de este trabajo se partió de una base de datos de 16 perfiles edáficos en la cuenca del río Mololoa, seis pertenecen a datos publicados por INEGI en 2002, y ocho estudios realizados por la Universidad Autónoma de Nayarit entre 1993 y 2006. Cada uno de estos perfiles fue muestreado nuevamente entre marzo de 2012 y agosto de 2013, descritos y caracterizados según la NOM-021-RECNAT-2000.

Los suelos se clasifican por el World Reference Base (IUSS workinggroup, WRB, 2008).

### 2.3.3 Determinación de COS

Las muestras de suelo se tomaron en cada perfil una muestra por horizonte. En los mismos lugares de muestra de suelo se hicieron determinaciones de densidad aparente por el método del cilindro (100 cm<sup>3</sup>).

Las muestras de suelo para el análisis de COS se prepararon según el método AS-01 (DOF 2012), para lo que se secaron al aire y luego se separaron las gravas de suelo fino mediante tamizado de 0.5 mm.

La determinación de la materia orgánica del suelo se realizó a través del método de Walkley y Black (AS-07), el cual se basa en la oxidación de carbón orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Se aplicó como corrección el factor 1.724.

Para el cálculo de COS se utilizó la ecuación propuesta por González *et al.*, 2008 para determinar las reservas de carbono (en t ha<sup>-1</sup>)

$$\text{COS} = \text{CO} (\text{Da}) p$$

Donde

COS = Carbono orgánico total en el suelo por superficie (t ha<sup>-1</sup>)

CO = Carbono orgánico total (%)

Da = Densidad aparente (kg dm<sup>-3</sup>)

p = Profundidad del suelo (cm)

#### 2.3.4 *Análisis de datos*

Para el análisis de resultados se agruparon los datos por grupo de cobertura vegetal y uso de suelo: bosque de encino, bosque de pino, cultivo perenne (aguacate y pastizal) y cultivo de caña de azúcar, bajo riego y de temporal. De igual forma las coberturas se agruparon en tres grupos referenciales de suelos (GRS): Andosol, Cambisol y Regosol, y a su vez dentro de estos tres grupos en 6 unidades de suelo.

## 2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presenta la tasa anual en  $t\ ha^{-1}$  de pérdidas o ganancias por Grupo y Unidades de Suelos. Por estos datos se observa que existen pérdidas o ganancias en una misma Unidad de Suelo y lo que decide en este caso es el tipo de cobertura y no el tipo de suelo. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta la tasa anual aproximada en  $t\ ha^{-1}$  de cambios (pérdidas o ganancias) en el COS por coberturas en la cuenca del río Mololoa, Nayarit.

La tasa de cambio es aproximada, dado que si se mantiene el mismo nivel de aporte anual de residuos vegetales, comienza un proceso de acumulación de carbono en el suelo como resultado de la menor tasa de mineralización. Esto sucede durante un periodo de tiempo, hasta que se alcanza un nuevo equilibrio, debido a esto el aumento en el contenido de carbono es muy rápido en los primeros años, y cada vez más lento en los subsecuentes años (González *et al.*, 2008).

Por los resultados de la Tabla 3, en general se aprecia que los suelos con coberturas estables es decir, los bosques de pino/encino, arboledas y pastizales registraron ganancias en el contenido de COS, mientras que los suelos con cultivos (caña de azúcar) presentaron pérdidas.

Tabla 2 Cambios de COS por GRS, Unidades de suelos y cobertura del suelo en la subcuenca del río Mololca, Nayarit.

GRS	Unidad de Suelo	Vegetación	Prof. cm	G/P t/ha/A	Años	
Andosol	Andosol mólico (éutrico)	Bp-Bp	0-20	+ 0,16	20	
			0-20 0-40	+ 0,38 + 0,87	20	
		Cñ-Mat	0-20 0-50	- 1,27 - 3,39	10	
			0-50	- 4,61		
		Cñr-Cñr	0-20 0-50	- 0,41 - 0,25	30	
			Cñr-Pt	0-20 0-50	- 1,71 - 1,55	17
Cambisol	Cambisol ándico (húmico, dístico)	Cñt-Cñt		0-20 0-50	-0,58 -0,83	19
		Cñt-Cñr	0-20 0-50 0-100	- 1,71 - 4,39 - 5,03	10	
	Cambisol ándico (húmico, éutrico)		Cñr-Pt	0-20 0-50	- 0,12 - 1,17	21
			Aa-Aa	0-20	+ 0,29	20
	Cambisol ándico (éutrico)	Pt-Pt	0-20 20-30	+ 2,65 +1,68	10	
			Cñr-Cñr	0-20 0-50 0-100	- 0,04 - 0,61 - 1,36	20
		Cambisol háplico (éutrico, crómico)		Be-Be	0-20 0-40	+ 0,40 + 0,97
	Regosol			Regosol háplico (dístico)	Cñt-Cñr	0-20 0-50
		Cñt-Pt	0-20		-0,06	19

GRS: Grupo Referencial de Suelo; G/P: Ganancia o Pérdida; t/ha/A: Toneladas por hectárea y año.

#### 2.4.1 Cambios en COS por tipos de cobertura

##### 2.4.1.1 Coberturas estables o permanentes

Algunos estudios comparativos demuestran que los bosques de pino y encino poseen una capacidad de captura de carbono de hasta  $56 \text{ t ha}^{-1}$ , dichos resultados se encontraron sobre todo en los suelos de bosque de pino mas no en los de encino. Pérez Ramirez *et al.* (2003), manejan que las cifras esperadas solo aparecen en asociaciones de Pino- encino, mas no en suelos exclusivos de encinares. El pino además presenta hojas aciculares de difícil descomposición, y en el caso del encinar son hojas coriáceas; ambos casos ricos en lignina (Yamallel *et al.*, 2012), lo que no favorece la acumulación de carbono.

De acuerdo con Bravo Espinoza *et al.* (2009), los cultivos de aguacate tienen una capacidad de captura de carbono de  $37$  a  $55 \text{ t ha}^{-1}$ , los resultados entran dentro de este rango con  $47.9 \text{ t ha}^{-1}$  registradas en 2013, la tasa de cambio presenta una ganancia anual aproximada de  $0.29 \text{ t ha}^{-1}$ , una cifra relativamente baja para el alto contenido de carbono que registra, sin embargo hay que tener en cuenta que es una cobertura estable por lo que es probable que haya alcanzado un equilibrio.

Los pastizales tienen una capacidad de captura de carbono de  $90 \text{ t ha}^{-1}$  (Vela *et al.*, 2012), sin embargo en este ecosistema, los resultados no muestran valores de captura mayores a los  $70 \text{ t ha}^{-1}$  como señalan los referidos autores. La tasa de cambio en los pastizales es una ganancia mayor al resto de las coberturas estables, presentando una ganancia de  $2.65 \text{ t ha}^{-1}$  por año, en los primeros 20 cm de suelo, esto representa  $2.50 \text{ t ha}^{-1}$  por año mayor a lo registrado en los bosque de pino y



2.25 2.50 t ha<sup>-1</sup> por año mayor a la tasa de bosque de encino. Esto es debido al aporte que realizan los pastizales en la captura de carbono al suelo (Cerri *et al.*, 1996; Xiaoxu *et al.*, 2011; Horrocks, 2013) y además, como se refirió anteriormente estas coberturas de bosques no son las mejores para la captura de carbono al suelo como ocurre con los bosques semidecíduos y de latifolias.

#### 2.4.1.2 Cultivos

Según trabajos anteriores la capacidad de captura de COS de la caña de azúcar se encuentra en 31.31 t ha<sup>-1</sup> (Arzola, 1999) al igual que una tendencia a la disminución del mismo siempre que no se mantenga un debido control de la materia orgánica en suelo anterior a la siembra.

En el caso específico de la caña de azúcar, cuando el ecosistema se pone en explotación después de la tala del bosque, el suelo tiene un contenido en materia orgánica que oscila entre 6-10%, a los pocos años (3-5 años) este contenido disminuye hasta la mitad y tiende a estabilizarse entre 3-4% cuando se cultiva la caña en forma manual y sin quema. Pero cuando se aplica la quema y requema de los residuos de cosecha de caña o el corte se hace mecanizado hay transformaciones en el suelo, tanto en el contenido en materia orgánica como por el surgimiento de la compactación o ambas cosas a la vez, lo que constituye lo que se conoce actualmente como cambios globales en los suelos (Ascanio y Hernández, 2006).



Tabla 3 Cambios en COS por coberturas y Unidades de suelos en la subcuenca del río Molcloa, Nayarit.

Cobertura	Unidad de Suelo	Prof., cm.	G/P T/ha/año	No. Años
<b>Estables o permanentes</b>				
Bosque de pinos	Andosol mólico (éutrico)	0-20	+ 0,15	20
	Andosol mólico (éutrico)	0-20 0-40	+ 0,38 + 0,87	20
Bosque de encino	Cambisol háplico (éutrico, crómico)	0-20	+ 0,40	7
		0-40	+ 0,97	
Arboleda de aguacate	Cambisol ándico (húmico, districo)	0-20	+ 0,29	20
Pastizal	Cambisol ándico (éutrico)	0-20	+ 2,65	10
		0-30	+ 1,68	
<b>Cultivos</b>				
Cñ r...Cñr	Andosol mólico (éutrico)	0-20	- 0,41	30
		0-50	- 0,25	
		0-20 0-50	- 1,71 - 1,55	
	Cambisol ándico (éutrico)	0-20	- 0,04	20
		0-50	- 0,61	
		0-100	- 1,36	
Cñt...Cñr	Regosol háplico (éutrico)	0-20	- 0,84	10
		0-50	- 1,47	
	Cambisol ándico (húmico, districo)	0-20 0-50 0-100	- 1,71 - 4,39 - 5,03	10
Cñt...Cñt	Cambisol ándico (húmico, districo)	0-20	- 0,58	19
		0-50	- 0,83	
Cñr...Pt	Cambisol ándico (húmico, districo)	0-20	- 0,12	21
		0-50	- 1,17	
Cñr...Mat.	Andosol mólico (éutrico)	0-20	- 1,27	10
		0-50	- 3,39	
		0-80	- 4,61	
Cñt...Pt	Regosol háplico (districo)	0-20	- 0,06	19

G/P: Ganancia o Pérdida, T/ha/A. Toneladas por hectárea y año.

En el estado de Nayarit, la cosecha de la caña de azúcar anualmente se realiza previa quema de los campos, lo que por una parte influye en la pérdida de residuos de cosechas y aporte al carbono del suelo y por otra, constituye una pérdida de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Según datos de Jiménez *et al.* (2000), mencionado por Salgado *et al.* (2001), la quema de una hectárea de caña libera 6,6 t año<sup>-1</sup> de C y emite 24,3 t año<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Agregan que esta última cifra comparada con la capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> por este cultivo, resulta no significativa; ya que una hectárea de caña con alta tasa de crecimiento capta 80 t año<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>.

En este trabajo se obtiene que todos los suelos con cultivos de caña tienen pérdidas en su contenido de COS, en el caso de los suelos con caña de riego que se mantuvieron con un cultivo prolongado se registraron pérdidas mayores a 1.50 t ha<sup>-1</sup> al año durante 19 años, comparándolo con el mismo cultivo y grupo referencial de suelo pero en un lapso de 30 años la tasa de pérdida de COS disminuye a 0.41 t ha<sup>-1</sup>. Algo similar sucede con los cultivos caña de riego que han pasado a pastizal, en el mismo tipo de suelo se registró una pérdida de 1.17 t ha<sup>-1</sup> a 50 cm. En un perfil de 21 años, mientras que en otro con las mismas características pero con una antigüedad de 10 años la tasa de pérdidas anuales aumenta a más de 4 t ha<sup>-1</sup>.

En casos de coberturas con caña de azúcar que han pasado a matorral o a pastizal, se encuentran variaciones, al parecer en el caso de caña de riego a matorral el suelo se degradó rápidamente y se abandonó por esto las pérdidas con el matorral son mayores, no así en los casos de pastizales que las pérdidas en la profundidad de 0-20 cm no son mayores de 0,06 t ha año<sup>-1</sup> a 0,12 t ha año<sup>-1</sup>. En

estos casos hay que tener en cuenta, como se vio anteriormente, que el pastizal enriquece rápidamente el suelo con materia orgánica en forma más rápida y eficiente que el matorral.

## 2.5 CONCLUSIONES

El estudio se llevó a cabo en tres GRS (Andosoles, Cambisoles y Regosoles), los cambios en las reservas de COS se relacionan con los diferentes tipos cobertura.

Los suelos en las coberturas vegetales estables presentaron ganancias en sus reservas de COS, siendo los pastizales los de la mayor tasa con  $2.65 \text{ t ha}^{-1}$  de ganancia por año. Los bosques de pino y encino también obtuvieron ganancias en menor grado con una tasa inferior a  $0.5 \text{ t ha}^{-1}$  por año.

Los cultivos de caña generaron pérdidas en las reservas de COS aunque estas disminuyen cuando la caña de azúcar se cambia a pastizal.

## 2.6 LITERATURA CITADA

Arzola, N. (1999). *Influencia del cultivo de caña de azúcar sobre el contenido de carbono orgánico en suelo*. Villa Clara: Estación territorial de investigaciones de la caña de azúcar de Villa Clara.

Ávila Henández , V., Velázquez Martínez , A., Angeles Pérez , G., Etchevers Barra, J., De los santos Posadas , H., & Llanderal , T. 2009. Variación en almacenes de carbono en suelos de una toposecuencia. *Agrociencias*(43), 457-464.

Ascanio, O. y Hernández, A. (2006): *Suelos de Agrosistemas Cañeros de Veracruz y Oaxaca: Cambios Globales y Medio Ambiente*. Cuadernos Universitarios. Editorial Veracruzana, Xalapa, México, ISBN: 968-834-734-5. 285p.

Battle-Bayer , L., Batjes, N., & Brindaban , P. S. 2010. Changes in organic carbon stock upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, ecosystem and Environment*(137), 47-58.

Bravo Espinoza , M., Sanchez Perez , Vidales Fernandez , J., Saenz Reyes , J., & Chavez Leon , J. 2009 . *Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán* . Uruapan: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales , Agrícolas y Pecuarias.

Cerri, C.C., M. Bernoux y G.J. Blair 1996. Reservas y flujo de carbono en sistemas naturales y agrícolas del Brasil y las implicaciones para el balance global de CO<sub>2</sub>. *TERRA*, Volumen 14, No. 1: 1-12.

Cheng, H., Bai, R., Li, K., & Zhao, C. 2011. Study of loss or gain of soil organic carbon in Da'an region, Jilin Province in China. *journal of geochemical exploration*(112), 272-275.

Diario Oficial de la Federación, 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. [recurso electrónico]<http://www.semarnat.gob.mx/node/18> (Consulta: marzo 12, 2013)

González, M. L., Etchevers, B. J., & Hidalgo, M. C. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia*(42), 741-751.

Horrocks, Claire Alice. 2013. Intensive agriculture to semi-natural grassland: evaluating changes in ecosystem service provision to help determine costs and benefits of agri-environment schemes. EdimburgUniversity.

INEGI, 2002. Base Digital de Datos de Suelos. México.

IUSS, WorkingGroup, WRB: Base referencial mundial del recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 103. FAO. 2008, 117p. 2008.

Johnson, D. W., Knoepp, J. D., Swank, E. T., Shan, J., Morris, L., & Van-Lear, D. H. (2001). Effect of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. *Environ. pollute*, 16, 201-208.

Nájera, O., Bojórquez S., J. I., Cifuentes L., J., & Marcelaño, S. (2010). Cambio de cobertura y uso de suelo en la cuenca del río Mololoa Nayarit. *Biociencias*, 1(1), 19-29.

NOM-021-RECNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación. Estudios de suelos, muestreo y análisis. México, Distrito Federal.

Perez Ramirez , S , Ramirez M . , I., Jaramillo-Lopez , P., & Bautista , F. (2013). Contenido de carbono orgánico en suelo bajo diferentes condiciones forestales: reservas de la biosfera mariposa monarca, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* , 19(1), 157-173.

Post, W. M., W. R. Emanuel, P. J. Zinke, and A. G. Stangenberger (1982). Soil carbon pools and world life zones, *Nature*, 298, 156 – 159,doi:10.1038/298156a0.

Romanya , J., Rovira , P., & Vallejo, R. 2007. Análisis de los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la conversión a la agricultura ecológica en el ambito mediterráneo. *ecosistemas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 16(1), 50-57.

Salgado Salgado, S., Bucio, L., Riestra, D. Y Lagunes-Espinoza L.C. 2001: Caña de azúcar: hacia un manejo sustentable. Centro de Posgraduados Campus Tabasco, ISPROYAB, Fundación PRODUCE. Villahermosa, Tabasco, México, 394p.

Vela C., G., Blanco L., J., & Rodríguez , M. 2011. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM(77)*, 18-30.

Vivanco, J. C., Bojórquez , J. I., Murray , R. M., & Najera , O. 2010. Características de los principales suelos de la cuenca del río Mololoa , Tepic, Nayarit , México. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 32-40

XiaoxuJia, Mingan Shao, Xiaorong Wei, Robert Horton, Xuezhang Li (2011):  
Estimating total net primary productivity of managed grasslands by a state-space  
modeling approach in a small catchment on the Loess Plateau, China. *Geoderma*,  
Volume 160, Issues 3-4, Pages 265-630.



## OTRAS REFERENCIAS:

FAO 2001. Situación de los bosques del mundo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Depósitos de documentos de la FAO.

Gamboa, A. M., & Galicia, L. 2012. Land-use/cover change effects and carbon controls on volcanic soil profiles in highland temperate forests. *Geoderma* 170:390-402.

Post, W. M., W. R. Emanuel, P. J. Zinke, and A. G. Stangenberger. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298:156 - 159

Schelesinger, W.M. 1990. Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soil. *Nature* 348:232-234

Swift, R. S. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.* 166: 858-871

Gifford, R.M. 1994. The global carbon cycle: A viewpoint on the missing sink. *Aust. J. Plant Physiol* 21: 1-15.

Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 77: 18-30.

Vela Correa, G., J. López Blanco, M. de la L. Rodríguez Gamiño y A. Chimal Hernández. 2009. Vulnerabilidad del suelo de Conservación del Distrito Federal ante el cambio climático y posibles medidas de adaptación. Informe Final, centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México, Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F. México.

Yamallel J. I., Jiménez Pérez J., Aguirre Calderón O. A. y Treviño Garza E. 2012. Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque* 33: 145-152.