



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

*“Estudio en la duda. Acción en la fe”*



**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DEL SISTEMA  
AGROFORESTAL CACAO EN COMALCALCO, TABASCO,  
MÉXICO**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

PRESENTA

**SANDRA PATRICIA FRANCISCO SANTIAGO**

DIRECTOR DE TESIS

**DR. RUFO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**

ASESOR

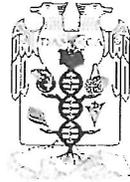
**DR. MAXIMIANO ANTONIO ESTRADA BOTELLO**

VILLAHERMOSA, TABASCO, SEPTIEMBRE DE 2016



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE ESTUDIOS TERMINALES

**Asunto:** Autorización de Impresión de  
Trabajo Recepcional bajo la  
Modalidad de: Tesis.

**Fecha:** 26 de septiembre de 2016

LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON,  
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN Y  
TITULACIÓN DE LA UJAT.  
P R E S E N T E.

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado(a), informo a usted, con base al artículo 86 del Reglamento de Titulación Vigente en esta Universidad, la Dirección a mi cargo **autoriza** al (la) **C. Sandra Patricia Francisco Santiago**, con **matrícula 112C16003**, egresado(a) de la licenciatura de **Ingeniería en Agronomía**, de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, **la impresión de su trabajo recepcional** bajo la modalidad de **Tesis**, Titulado: **"Almacenamiento de Carbono en suelos del sistema agroforestal cacao en Comalcalco, Tabasco, México"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

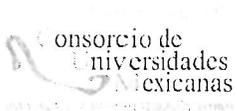
DR. ROBERTO FLORES BELLO  
DIRECTOR

U.J.A.T.



DIVISIÓN ACADÉMICA DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente Alumno.  
Archivo  
DR. RFB/MC, MBC



Km 25 de la carr. fed. 195, tramo Villahermosa-Teapa  
Ra. La Huasteca, 2ª sección, 86298, Centro, Tabasco, México  
Tel. (+52 993) 3581500-Ext. 6614  
Correo electrónico: terminalesdaca@gmail.com

www.ujat.mx

www.facebook.com/ujat.mx | www.twitter.com/ujat | www.youtube.com/UJATmx

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

La que suscribe, autorizo por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis, denominado: **“Almacenamiento de carbono en suelos del sistema agroforestal cacao en Comalcalco, Tabasco, México”**, de la cual soy autora y titular de los derechos de autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco del Trabajo Recepcional antes mencionado, será únicamente y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitada para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID), y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la Tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los Veintiséis días del mes de Septiembre del año 2016.

AUTORIZO



---

Sandra Patricia Francisco Santiago

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Fomento a la Investigación (PFI) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por la beca otorgada para la realización de la presente tesis por medio del proyecto de Investigación “Estimación del potencial de almacenamiento de carbono en el agroecosistema cacao en el estado de Tabasco” con clave UJAT-2014-IA-12.

A todos los profesores que confiaron en mi como estudiante y que compartieron sus conocimientos durante mi formación académica. Muchas gracias.

A mi director de tesis el Dr. Rufo Sánchez Hernández por ser un excelente mentor y por haberme permitido colaborar en este proyecto. Agradezco su asesoramiento, apoyo, paciencia y el tiempo que me dedicó para la realización de mi tesis. De igual manera le agradezco su sincera amistad, la cual me ayudó tanto académicamente como personalmente.

Agradezco de manera especial al M.C. Ulises López Noverola y al Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello por ser extraordinarios profesores, pero sobre todo por brindarme su amistad y sus valiosos consejos para mejorar como persona.

A la comisión revisora integrada por los Profesores Juan de Dios Mendoza Palacios, Roberto Antonio Cantú Garza, Ulises López Noverola, Rufo Sánchez Hernández y Julio Cámara Córdova, por su importante colaboración en el desarrollo de mi tesis y por sus atinadas sugerencias.

A mis compañeros por todos esos viajes realizados y por llenar de alegría y diversión mi etapa universitaria. Los quiero.

A todos los que directa e indirectamente me apoyaron para la realización de este proyecto.

*Dedico este trabajo a:*

**Dios**

*Por darme salud y por bendecirme con el regalo más valioso: mi familia.*

**Mis padres Ernesto y Casilda**

*Porque con su amor, guía y confianza he llegado a realizar uno de los anhelos más importantes para mí; quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su incondicional apoyo.*

*Los amo.*

**Mis hermanos Rigoberto y Maribel**

*Por las muestras de cariño y por todos los consejos que en su momento me han brindado.*

*Los quiero mucho.*

**Mis sobrinos Erick Adrián y José Ernesto**

*Por sus besitos y sonrisitas que alegran mi día.*

*Los amo y adoro con toda mi alma.*

**Mis verdaderos amigos/as... ustedes saben quiénes son jaja**

*Por su sincera e incondicional amistad y por darle diversión a mi vida.*

*Los/as quiero mucho.*

**Con gran cariño y respeto, Sandra Patricia**

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| ÍNDICE DE CUADROS .....                                              | i  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                              | ii |
| I. RESUMEN.....                                                      | 1  |
| II. INTRODUCCIÓN.....                                                | 2  |
| III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....                                      | 4  |
| 3.1. Objetivo general.....                                           | 4  |
| 3.2. Objetivos específicos.....                                      | 4  |
| 3.3. Hipótesis .....                                                 | 4  |
| IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....                                      | 5  |
| 4.1. Estadísticas básicas de la producción del cultivo de cacao..... | 5  |
| 4.1.1. Producción mundial.....                                       | 5  |
| 4.1.2. Producción nacional y estatal.....                            | 5  |
| 4.2. El protocolo de Kyoto y la reducción de los GEI.....            | 7  |
| 4.3. El ciclo y los reservorios de C en la naturaleza.....           | 8  |
| 4.4. El suelo como almacén de C.....                                 | 9  |
| 4.5. Formas de C.....                                                | 11 |
| 4.5.1. Lábil.....                                                    | 11 |
| 4.5.2. Recalcitrante.....                                            | 11 |
| 4.6. Importancia de los SAFC en la captura de C.....                 | 11 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                         | 15 |
| 5.1. Localización del área de estudio.....                           | 15 |
| 5.2. Descripción del área de estudio.....                            | 15 |
| 5.2.1. Clima.....                                                    | 15 |

|        |                                                                       |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 5.2.2. | Vegetación.....                                                       | 15 |
| 5.2.3. | Material parental.....                                                | 16 |
| 5.3.   | Elaboración de mapa de suelo y definición de puntos de muestreo ..... | 16 |
| 5.4.   | Muestreo de suelos en parcelas seleccionadas.....                     | 16 |
| 5.5.   | Análisis físicos y químicos.....                                      | 17 |
| 5.6.   | Procesamiento de las muestras de suelo.....                           | 17 |
| 5.7.   | Determinación de C en suelos .....                                    | 18 |
| 5.8.   | Análisis estadístico.....                                             | 19 |
| VI.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                           | 20 |
| 6.1.   | Los suelos de los SAFC en el municipio de Comalcalco, Tabasco.....    | 20 |
| 6.2.   | Textura de los suelos del SAFC en Comalcalco .....                    | 21 |
| 6.3.   | Contenidos de C en los suelos del SAFC .....                          | 23 |
| 6.4.   | La $\rho_b$ en los suelos del SAFC.....                               | 26 |
| VII.   | CONCLUSIONES.....                                                     | 30 |
| VIII.  | LITERATURA CITADA.....                                                | 32 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|          |                                                                                          |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1 | Principales productores de cacao en el mundo.....                                        | 5  |
| Cuadro 2 | Producción agrícola del cultivo de cacao del 2014 a nivel nacional.....                  | 6  |
| Cuadro 3 | Producción agrícola del cultivo de cacao del 2014 en Tabasco.....                        | 7  |
| Cuadro 4 | Análisis físicos y químicos incluidos en la investigación.....                           | 17 |
| Cuadro 5 | Composición mecánica de suelos Fluvisols y Cambisols en tres profundidades de suelo..... | 22 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|           |                                                                                                       |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Localización geográfica de Comalcalco, Tabasco, México.....                                           | 15 |
| Figura 2  | Diseño para el muestreo de suelos en el sistema agroforestal de cacao en Comalcalco, Tabasco.....     | 17 |
| Figura 3  | Distribución de los grupos de suelos en el SAFC, en el municipio de Comalcalco, Tabasco.....          | 20 |
| Figura 4  | Porcentaje de arcilla, limo y arena en Fluvisols y Cambisols.....                                     | 21 |
| Figura 5  | Porcentaje de carbono en Fluvisols y Cambisols en el SAFC en el municipio de Comalcalco, Tabasco..... | 23 |
| Figura 6  | Porcentaje de carbono por profundidad en Fluvisols y Cambisols.....                                   | 23 |
| Figura 7  | Porcentaje de carbono en Fluvisols.....                                                               | 24 |
| Figura 8  | Porcentaje de carbono en Cambisols.....                                                               | 24 |
| Figura 9  | Carbono por grupo de suelo expresado en $Mg\ C\ ha^{-1}$ .....                                        | 26 |
| Figura 10 | Densidad aparente en Fluvisols y Cambisols.....                                                       | 27 |
| Figura 11 | Densidad aparente por profundidad en Fluvisols y Cambisols.....                                       | 27 |
| Figura 12 | Densidad aparente en Fluvisols.....                                                                   | 28 |
| Figura 13 | Densidad aparente en Cambisols.....                                                                   | 28 |

## I. RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el potencial de almacenamiento de carbono (C) en los suelos del sistema agroforestal cacao (SAFC) en el municipio de Comalcalco, Tabasco. Mediante un Sistema de Información Geográfica, se identificaron los polígonos de suelos cultivados con este uso; se determinó que los SAFC se distribuyen en tres grupos de suelos. La mayor superficie se encuentra distribuida en 9,765 hectáreas (ha) de Fluvisols (FL) que equivale a un 92.6 % del total de la superficie de cacao en el municipio, mientras que una superficie de 578.6 ha que corresponde al 5.5 % se distribuye sobre suelos Cambisols (CM), el resto de la superficie corresponde a Gleysols (GL). Se eligieron los FL y CM por ser los más importantes en superficie. Para cada suelo se seleccionaron cuatro SAFC de edad similar. En 10 sitios de cada parcela se muestreó el suelo a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm), y se determinaron las variables textura, densidad aparente ( $\rho_b$ ) y carbono orgánico (CO). Se concluye que los CM y FL sobre los que se distribuyen los SAFC presentan texturas migajón arcillosa y contienen porcentajes similares de C; aunque en la capa de suelo 0-10 cm del CM se acumula mayor porcentaje de C con respecto a la misma capa del FL. Ambos suelos presentaron un gradiente de distribución vertical de C, que va de mayor a menor a partir de la superficie. Se determinó que el 62 y 55 % del C se acumulan en la capa 0-10 cm en CM y FL respectivamente. El C acumulado reduce la  $\rho_b$ , observando que esta variable fue menor en la capa 0-10 cm. La acumulación de C en CM se calculó en 61.14 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que en FL dicha acumulación fue de 53.27 Mg C ha<sup>-1</sup>.

## II. INTRODUCCIÓN

El estado de Tabasco ocupa el primer lugar a nivel nacional en superficie cultivada de cacao (*Theobroma cacao*); dicho cultivo se posiciona actualmente como el segundo mayormente plantado en la entidad (SIAP, 2016). Por los componentes que este sistema posee, el cacaotal reúne las características para ser considerado un sistema agroforestal (SAF). Por definición, un SAF combina la actividad forestal con otras como la agrícola, para satisfacer las necesidades del ser humano, sin renunciar a los beneficios que los árboles le ofrecen al medio ambiente (Nair, 1997). Además, los SAF disminuyen la presión de los bosques naturales, regulan el clima, mejoran la calidad de agua, el paisaje y la biodiversidad, ayudan a prevenir desastres naturales, funcionan como refugio de especies animales, y generan socialmente empleos y producen bienes y servicios (Sánchez *et al.*, 2013). En este sentido, en el cacaotal se asocia el árbol del género *Theobroma* con otros árboles de sombra, entre los que destacan tatuán (*Colubrina arborescens*), chipilcoi (*Diphysa robinoides*), cocoíte (*Gliricidia sepium*), moté (*Erythrina americana*), cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), entre otras (Moreno-Gómez, 2012). El cacao es un cultivo de gran arraigo en la entidad desde épocas prehispánicas, y aún sigue ocupando un lugar importante en la economía del estado, esto a pesar de que en los últimos años se ha registrado una disminución en la superficie cultivada; al respecto el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP; 2016) reporta que en 2004 en el estado se encontraban establecidas 60,006 hectáreas (ha), superficie que se redujo a 40,782 ha en 2014. Díaz-José *et al.* (2013) reportaron que durante el periodo 2000-2011 el cultivo de cacao en México registró una reducción de la producción de 43.7 %, particularmente debido a problemas fitosanitarios tales como la moniliasis, que es actualmente la principal limitante de la producción de cacao en el estado (Torres de la Cruz *et al.*, 2013). Lo anterior ha provocado que los productores derriben sus plantaciones por el desconocimiento del manejo de la enfermedad, y se vislumbra que este problema podría incrementarse y ocasionar una disminución de las zonas cultivadas, lo que podría provocar además de una merma económica, un deterioro ambiental por la

disminución en la captura de carbono (C) que proporciona este agroecosistema (Barrón-García *et al.*, 2014). De igual manera, el abandono de las plantaciones y la baja rentabilidad del cultivo (Díaz-José *et al.*, 2013) ha provocado que se cambie el uso de suelo a otras actividades, entre las que destaca la ganadería (Ramos-Reyes *et al.*, 2004). En un SAF como el cacaotal, tanto el suelo como los árboles representan almacenes de C. En el suelo, dicho almacenamiento ocurre al mantenerse las fracciones de materia orgánica (MO) en diferentes compartimentos del sistema. La materia orgánica del suelo (MOS) se aloja en la estructura, por lo que mientras se mantenga inalterado el suelo el C se mantiene almacenado, y el retorno de dicho elemento a la atmósfera puede ocurrir en varias décadas, ayudando así a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI; Six *et al.*, 2004). Es importante determinar el potencial de almacenamiento de C de los suelos del cacaotal en términos de cantidad ya que permite revalorar al cacaotal, no solo por los ingresos económicos que aporta al estado, sino además por su importancia ambiental, en particular como almacén de C.

### III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 3.1. Objetivo general

Determinar el potencial de almacenamiento de carbono en suelos de cacaotales en el municipio de Comalcalco, Tabasco, México.

#### 3.2. Objetivos específicos

a) Elaborar un mapa temático de grupos de suelos de referencia de acuerdo al sistema WRB (2014) para visualizar la distribución de los cacaotales en el municipio de Comalcalco, Tabasco, México.

b) Cuantificar la cantidad de carbono orgánico en diferentes grupos de suelos de cacaotales en el municipio de Comalcalco, Tabasco, México.

#### 3.3. Hipótesis

El grupo de suelo influye en la cantidad de carbono orgánico almacenado en el sistema agroforestal cacao.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Estadísticas básicas de la producción del cultivo de cacao

#### 4.1.1. Producción mundial

La producción de cacao a nivel mundial se distribuye en un 65.6 % en África, 18 % en Asia, 15.2 % en América y 1.2 % en Oceanía. Se cultiva en un total de 62 países, en donde México ocupa el octavo lugar a nivel mundial con una producción de 82,000 toneladas (t; Cuadro 1). Se puede apreciar que en los años 2009-2013 la producción anual se incrementó de 60,000 a 82,000 t (FAOSTAT, 2016).

**Cuadro 1.** Principales productores de cacao en el mundo.

| Posición | País                 | Producción anual (t) |              |              |              |              |
|----------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|          |                      | 2009                 | 2010         | 2011         | 2012         | 2013         |
| 1        | Costa de Marfil      | 1,223,153.00         | 1,301,347.00 | 1,511,255.00 | 1,485,882.00 | 1,448,992.00 |
| 2        | Ghana                | 710,638.00           | 632,037.00   | 700,020.00   | 879,348.00   | 835,466.00   |
| 3        | Indonesia            | 809,583.00           | 844,626.00   | 712,200.00   | 740,500.00   | 777,500.00   |
| 4        | Nigeria              | 363,510.00           | 399,200.00   | 391,000.00   | 383,000.00   | 367,000.00   |
| 5        | Camerún              | 235,500.00           | 264,077.00   | 240,000.00   | 268,941.00   | 275,000.00   |
| 6        | Brasil               | 218,487.00           | 235,389.00   | 248,524.00   | 253,211.00   | 256,186.00   |
| 7        | Ecuador              | 120,582.00           | 132,100.00   | 224,163.00   | 133,323.00   | 128,446.00   |
| 8        | México               | 60,000.00            | 61,000.00    | 83,000.00    | 82,000.00    | 82,000.00    |
| 9        | Perú                 | 36,803.00            | 46,613.00    | 56,499.00    | 62,492.00    | 71,175.00    |
| 10       | República Dominicana | 54,994.00            | 58,334.00    | 54,279.00    | 72,225.00    | 68,021.00    |

Fuente: FAOSTAT, 2016.

#### 4.1.2. Producción nacional y estatal

El cultivo de cacao es uno de los recursos agrícolas y culturales más importantes del trópico húmedo mexicano (Díaz-José *et al.*, 2013). A esta actividad productiva se dedican en su mayoría pequeños productores quienes dependen de ella para su sustento económico (Ramírez-González *et al.*, 2008).

Cifras del SIAP reportan que en 2004 en el estado de Tabasco se encontraban establecidas 60,006 ha, superficie que disminuyó a 40,782.70 ha en 2014. Este estado fue el principal productor a nivel nacional en el cultivo de cacao, seguido de Chiapas y Guerrero (Cuadro 2); y ocupando el segundo lugar como el cultivo más importante del estado, cultivándose con una superficie de 40,782.70 ha, equivalente al 16.44 % del territorio estatal; la producción ascendió a 16,269.56 t; en tanto que el valor de producción fue de 615,464.68 millones de pesos (SIAP, 2016).

**Cuadro 2.** Producción agrícola del cultivo de cacao del 2014 a nivel nacional.

| Ubicación    | Superficie       | Superficie       | Producción       | Rendimiento | Valor             |            |
|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------------|------------|
|              | Sembrada         | Cosechada        |                  |             | Producción        | %          |
|              | (ha)             | (ha)             | (t)              | (t/ha)      | (Miles de Pesos)  | Sembrada   |
| Tabasco      | 40,782.70        | 40,782.70        | 16,269.56        | 0.4         | 615,464.68        | 66.25      |
| Chiapas      | 20,544.40        | 18,605.90        | 10,480.21        | 0.56        | 341,366.94        | 33.37      |
| Guerrero     | 235              | 235              | 219.59           | 0.93        | 1,273.41          | 0.38       |
| <b>TOTAL</b> | <b>61,562.10</b> | <b>59,623.60</b> | <b>26,969.36</b> | <b>0.45</b> | <b>958,105.03</b> | <b>100</b> |

Fuente: SIAP, 2016.

La distribución de las plantaciones ocupa once municipios: Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Jalapa, Jalpa de Méndez, Nacajuca, Paraíso, Tacotalpa y Teapa; de estos, Comalcalco es el líder tanto en superficie sembrada como en producción. En 2014 el municipio de Comalcalco registró 11,055 ha cultivadas, de donde se obtuvo una producción de 4,420 t, con un valor de producción de 167,960 millones de pesos (Cuadro 3; SIAP, 2016).

**Cuadro 3.** Producción agrícola del cultivo de cacao del 2014 en Tabasco.

| Municipio    | Superficie       | Superficie       | Producción       | Rendimiento | Valor             |            |
|--------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------------|------------|
|              | Sembrada         | Cosechada        |                  |             | Producción        | %          |
|              | (ha)             | (ha)             | (t)              | (t/ha)      | (Miles de Pesos)  | (Sembrada) |
| Comalcalco   | 11,055.00        | 11,055.00        | 4,420.00         | 0.4         | 167,960.00        | 27.11      |
| Cárdenas     | 10,342.00        | 10,342.00        | 3,838.00         | 0.37        | 145,844.00        | 25.36      |
| Cunduacán    | 8,511.00         | 8,511.00         | 3,496.00         | 0.41        | 132,848.00        | 20.87      |
| Huimanguillo | 5,671.00         | 5,671.00         | 2,255.00         | 0.4         | 85,690.00         | 13.91      |
| J. de Méndez | 2,830.00         | 2,830.00         | 1,116.00         | 0.39        | 42,408.00         | 6.94       |
| Paraíso      | 1,583.00         | 1,583.00         | 635              | 0.4         | 24,130.00         | 3.88       |
| Centro       | 323.48           | 323.48           | 200              | 0.62        | 6,672.17          | 0.79       |
| Teapa        | 268.96           | 268.96           | 174              | 0.65        | 5,591.19          | 0.66       |
| Tacotalpa    | 158.26           | 158.26           | 118              | 0.75        | 3,673.47          | 0.39       |
| Nacajuca     | 37               | 37               | 14               | 0.38        | 532               | 0.09       |
| Jalapa       | 3                | 3                | 3.56             | 1.19        | 115.85            | 0.01       |
| <b>TOTAL</b> | <b>40,782.70</b> | <b>40,782.70</b> | <b>16,269.56</b> | <b>0.4</b>  | <b>615,464.68</b> | <b>100</b> |

Fuente: SIAP, 2016.

#### 4.2. El protocolo de Kyoto y la reducción de los GEI

El Protocolo de Kyoto se creó en 1997, consiste en un acuerdo mundial para el establecimiento de un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) cuyo propósito es mitigar los efectos del cambio climático. Una de las acciones propuestas es la reducción de las emisiones de los GEI, las cuales en su mayoría son provocadas por los países más industrializados (Villavicencio, 2004; Somarriba *et al.*, 2008). El protocolo de Kyoto considera como GEI al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) (Lozano-Torres, 2007). Dicho protocolo lo constituyen tres mecanismos, que permiten que los países industrializados puedan cumplir con el compromiso de reducir la emisiones de GEI a la atmósfera: a) El MDL, hace posible la participación de los gobiernos o empresas de los países

industrializados para realizar inversiones en proyectos de reducción de los GEI, y estas son reconocidas como parte de sus compromisos en la reducción de dichas emisiones; b) El Comercio Internacional de Emisiones, permite la transferencia de 'derechos de emisiones' entre los países industrializados y; c) La Implementación Conjunta, permite a los países reclamar créditos por la reducción de emisiones que generen sus inversiones en otros países industrializados (Villavicencio, 2004).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC; 2007), el CO<sub>2</sub> es uno de los GEI que ha cobrado mayor relevancia en las últimas décadas, ya que su concentración en la atmósfera ha ido aumentando por las actividades antropogénicas, particularmente por la utilización de combustibles fósiles, los cambios de uso de tierra, la deforestación, así como por la quema de biomasa vegetal.

#### **4.3. El ciclo y los reservorios de C en la naturaleza**

El ciclo del C, es un ciclo biogeoquímico de gran importancia en la regulación del clima de la tierra, ya que controla la transferencia de C entre el océano y el suelo (atmósfera y litosfera) (Arellano *et al.*, 2013). El C en su unión molecular con el oxígeno, constituye el CO<sub>2</sub>, gas cuya presencia en la atmósfera es fundamental en la regulación de la temperatura del planeta debido a sus propiedades como gas de efecto invernadero (INECC, 2016).

Según Martín-Chivelet (2010) el C se transfiere entre los diferentes almacenes a través de procesos o flujos de largo o de corto plazo. Los de largo plazo ocurren desde la litosfera hasta la hidrosfera, atmósfera, rizosfera y biosfera. El C que se transfiere desde la atmósfera y la rizosfera hasta la litosfera, fluye como CO<sub>2</sub> que se combina con el agua de lluvia y se transforma en ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), el cual interacciona en la superficie de las rocas ricas en silicatos provocando su meteorización. A partir de este proceso se origina un mineral más estable en la superficie, así como agua residual rica en bicarbonato (HCO<sub>3</sub>), esa agua residual llega hacia al océano donde el HCO<sub>3</sub> se combina con el calcio para

formar carbonatos y sedimentos carbonáticos. Con el enterramiento de dichos sedimentos, el C es devuelto a la litosfera; las rocas sedimentarias son alteradas por los procesos de desgasificación relacionada con el vulcanismo, metamorfismo y diagénesis profunda, por lo que, a través de las actividades volcánicas, es devuelto como CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Por su parte Verhulst *et al.* (2015) indican que los ciclos de corto plazo, acontecen en todos los almacenes de C excepto en la litosfera. A través de la fotosíntesis de las plantas existe una interacción entre la atmósfera y la biosfera. Mientras que el C que fluye desde la biosfera hasta la rizosfera ocurre por la descomposición de la MOS. Por su parte entre la rizosfera y la hidrosfera, dicho flujo de C se da por medio del transporte fluvial de las partículas erosionadas que llegan a los océanos, para de nueva cuenta devolverse hacia la atmósfera. Asimismo, se precisa una desgasificación de la rizosfera hacia la atmósfera, gas que proviene de la degradación de la MOS que no es protegida en la estructura del suelo. Al respecto de la capacidad de cada uno de los almacenes de C, Eswaran *et al.* (1993) mencionan que la hidrosfera concentra 38,000 Petagramos (Pg) de C; mientras que entre la rizosfera y la biosfera se almacenan 2050 Pg, los cuales se distribuyen en 1500 Pg en el suelo y 550 Pg en la biomasa vegetal, la atmósfera concentra 750 Pg, mientras que la litosfera puede almacenar hasta 4000 Pg de C.

#### 4.4. El suelo como almacén de C

La capacidad de almacenamiento de C del suelo ha sido ampliamente reconocida. Batjes (1996) señala que a diferencia de los océanos, el sistema terrestre (suelo-vegetación) es el almacén potencialmente más lábil a corto plazo. Sánchez-Hernández *et al.* (2011) mencionan que el suelo es considerado como la segunda reserva de C, y que es de suma importancia porque ayuda a mitigar los efectos de los GEI en particular del C; señalan que el principal mecanismo de almacenamiento ocurre mediante la protección física la MO en la estructura del suelo. Por su parte Pardos (2010) menciona que en el suelo, el CO está contenido en la MO y no comprende el C proveniente de la hojarasca y mantillo.

Martínez *et al.* (2008) y Pardos (2010) refieren que el carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento proveniente de la MOS, y constituye aproximadamente dos tercios del C almacenado en los ecosistemas terrestres. Ćirić, *et al.* (2013) mencionan que el nivel de COS está estrechamente relacionado con la estructura del suelo, ya que esta propiedad física protege el C que se encuentra dentro de los agregados, por lo tanto la estabilidad de los agregados es un factor importante en la capacidad de almacenamiento del C edáfico.

Jobbágy *et al.* (2000) señalan que la abundancia del COS afecta y es afectado por la producción de plantas, y por más de un siglo se ha reconocida su importancia en la fertilidad del suelo y la producción agrícola; desde el punto de vista químico, se sabe que el COS proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico; mientras que desde el punto de vista físico, se reconoce que el COS modifica la estructura e incrementa la porosidad. Sin embargo, la capacidad de los suelos en el almacenamiento del COS varía de acuerdo a las condiciones ambientales locales, así como por el manejo del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Al respecto Martínez *et al.* (2008) y Sandoval-Estrada *et al.* (2003) señalan que una manera de mantener el C en el suelo es reduciendo la perturbación de la estructura, por lo que el uso de la labranza de conservación permite aumentar la capacidad potencial de secuestro de C en el suelo, particularmente debido a una reducción de la oxidación de la MOS; esta reducción en la tasa de descomposición de la MO, provoca de manera indirecta que la temperatura del suelo disminuya. Otra alternativa para incrementar dicho potencial son las rotaciones e incorporaciones de residuos de cosecha de los cultivos, aumentar la cantidad de coberturas, y hacer un uso adecuado de los insumos (Follett, 2001). La MOS puede ser protegida de descomposición acelerada mediante: 1) estabilización física por la microagregación, 2) estabilización físico-química mediante asociación con partículas de arcilla, y 3) estabilización bioquímica mediante la formación de compuestos altamente recalcitrantes (Six *et al.*, 2002). En tanto que el uso de fertilizantes, agroquímicos y maquinaria, contribuyen a una rápida oxidación de la MOS, situación que junto con

la erosión y la quema de los rastrojos, contribuyen a la liberación de C a la atmósfera, por lo que se ha señalado que las actividades agrícolas son generadoras de GEI que agudizan el fenómeno del calentamiento global (Sandoval-Estrada *et al.* 2003).

#### **4.5. Formas de C**

##### **4.5.1. Lábil**

El C lábil es un estado de transición de la MO entre los residuos frescos y el humus del suelo. Esta fracción es sensible a las modificaciones a corto plazo, y se comporta como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo, siendo la más dinámica y sensible a través del tiempo (Zou *et al.*, 2005).

##### **4.5.2. Recalcitrante**

Es un reservorio de C con tiempos medios de residencia que pueden alcanzar desde unas cuantas décadas hasta más de 1000 años, ya que se trata de una fracción de la MO más estable. Debido a su composición química, la lignina es más estable que la celulosa, ambas constituyen la fracción estable de la MOS. Además de su composición química, dicha estabilidad está relacionada con el tipo de protección, ya sea física o química. La protección física significa un encapsulado de la MO por las partículas de arcilla o por los macro o microagregados del suelo; mientras que la protección química se refiere a uniones especiales de la MO con otros constituyentes del suelo (coloides o arcillas), pero más a menudo con compuestos orgánicos muy estables del suelo (Martínez *et al.*, 2008; FAO, 2002).

#### **4.6. Importancia de los SAFC en la captura de C**

Existen diferentes ecosistemas que debido a sus altas tasas de asimilación de C, son considerados como agentes mitigadores del calentamiento global (Arellano *et al.*, 2013). Los SAF son un ejemplo de ellos; estos se definen como sistemas que combinan la actividad forestal con otras como la agricultura y la

ganadería, para satisfacer la alimentación del ser humano, sin renunciar a los beneficios que los árboles le dan al medio ambiente (Nair, 1997).

Los SAF pueden fijar y almacenar hasta 228 t C ha<sup>-1</sup> (Ortiz *et al.*, 2008). Por lo anterior, Shalisko y Vázquez-García (2013) mencionan que los ecosistemas forestales y agroforestales son una alternativa por su alta capacidad de captura y almacenamiento de C. En este sentido, Benjamín-Ordoñez y Masera (2001) resaltaron la importancia de la captura del C para permitir mitigar el denominado Cambio Climático Global; sus estudios referente a la emisión-captura de C en ecosistemas forestales permiten estimar las cantidades de C asociado a la vegetación, así como desarrollar métodos de cuantificación y predicción sobre el comportamiento de los procesos de emisión-captura de C bajo diferentes dinámicas de cambio de uso de suelo, lo que ofrece la posibilidad de estimar la tasa de captura de GEI a diferentes plazos, lo que abre la posibilidad de que los SAF puedan recibir incentivos económicos por la prestación de servicios ambientales.

Los sistemas agroforestales de cacao (SAFC) son asociaciones entre diferentes especies de árboles de sombra con los árboles de cacao, dichas asociaciones generan tanto beneficios económicos como beneficios ambientales al capturar C en biomasa, necromasa y suelos, por lo que son considerados como mitigadores del cambio climático (Sánchez-Hernández *et al.* 2013; Andrade *et al.* 2013). Al respecto Somarriba y Harvey (2003) han señalado que los SAFC tienen una importancia económica y ambiental; la primera por los ingresos económicos que genera, y la segunda por tener una contribución a la conservación de la biodiversidad, así como por ser un sumidero de C.

Estudios de Ortiz *et al.* (2008) demostraron el potencial de captura de C que tiene el SAF cacao-laurel, sus resultados indicaron que este sistema puede llegar a almacenar entre 43-62 t C ha<sup>-1</sup>, lo que equivale a acumular entre 1.7-2.5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; estos autores indican que el laurel fija entre el 80-85 % del C total en la biomasa, por lo que proponen que este SAF pueda ser considerado como un

prestador de servicios ambientales, con la finalidad de que los productores reciban ingresos económicos mediante la venta de certificados de reducción de emisiones de GEI.

Por su parte Andrade *et al.* (2013) realizaron investigaciones para calcular la capacidad de almacenamiento de C en SAFC de diferentes edades. Sus resultados fueron de 28.8 t C ha<sup>-1</sup> en hojarasca y 4.1 t C ha<sup>-1</sup> en biomasa aérea en el SAFC de 18 años, mientras que esta cantidad se incrementa a 33.6 t C ha<sup>-1</sup> en hojarasca y 4.5 t C ha<sup>-1</sup> en biomasa aérea en el SAFC de 35 años. Según Concha *et al.* (2007), otro factor que influye en la capacidad de almacenamiento de C en los SAFC son las diferentes especies forestales maderables y frutales que se incluyen en el sistema. Si se considera la biomasa total (árboles vivos, árboles muertos parados y caídos, hojarasca y herbácea-arbustiva) en el SAFC, la captura de C varía de 26.2 t C ha<sup>-1</sup> a 45.07 t C ha<sup>-1</sup>. En la biomasa de los árboles vivos se almacena entre 12.09-35.5 t C ha<sup>-1</sup>; la hojarasca acumula entre 4.0-9.97 t C ha<sup>-1</sup>; mientras que en la biomasa muerta presentan valores variables y bajos; ellos concluyeron que los SAFC de 12 y 20 años pueden almacenar C más de 40 t C ha<sup>-1</sup>, mientras que los sistemas de cinco años de edad almacenan menos de 30 t C ha<sup>-1</sup>.

Algunas investigaciones indican que si bien la cantidad de C que se puede almacenar en la biomasa del sistema es importante, la cantidad que puede acumularse en el suelo es superior. Somarriba *et al.* (2013) estimaron en 117±47 Megagramos (Mg) ha<sup>-1</sup> la capacidad de almacenamiento de C almacenado en el sistema cacao, de los cuales 51 Mg ha<sup>-1</sup> se acumulan en el suelo, mientras que 49 Mg ha<sup>-1</sup> se acumulan en la biomasa de los árboles de cacao y sombra. Sin embargo otras investigaciones difieren con los resultados anteriores; Cerda-Bustillos *et al.* (2013) valoraron en 122±24 t C ha<sup>-1</sup> lo que se puede almacenar en un SAFC, de los cuales el 43 % se aloja en la biomasa aérea y 41 % en el suelo; puntualizaron que la capacidad de almacenamiento del C correlaciona con el área basal (AB) de los árboles maderables y frutales, es decir que el grosor y tamaño de los árboles es

más importante que la abundancia de individuos y riqueza de especies, ya que las especies con mayor AB en el SAFC pueden almacenar más C total y biomasa aérea.

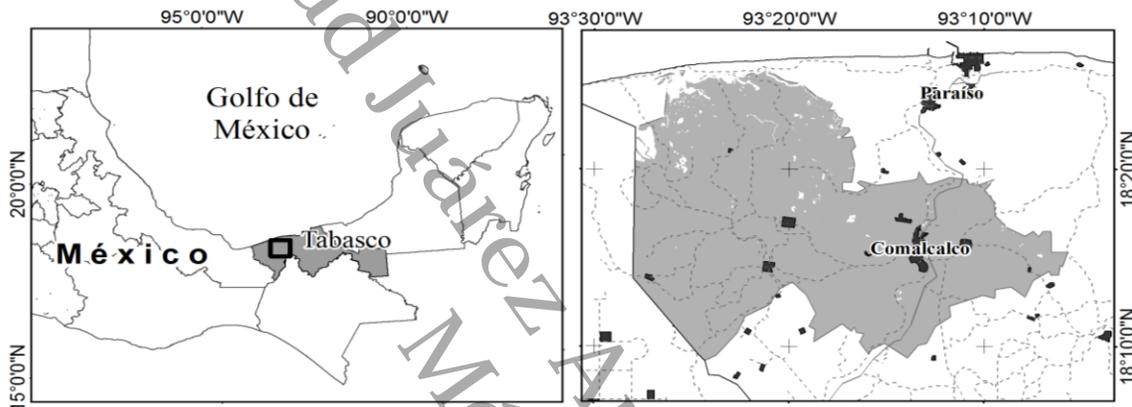
Como se detalló con anterioridad, se han realizado un sinnúmero de investigaciones que estiman el almacenamiento de C en los SAFC. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se han enfocado a la biomasa área del sistema, siendo aún insuficiente los trabajos orientados a conocer la dinámica de acumulación del C en los suelos, por lo que el presente estudio contribuirá a generar conocimiento sobre la capacidad del suelo del cacaotal para almacenar C bajo las condiciones del trópico húmedo de México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Localización del área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en el municipio de Comalcalco, Tabasco, principal productor de cacao en el estado; su ubicación geográfica se localiza entre las coordenadas geográficas 18°12'0" y 18°24'0" N; 93°26'0" y 93°6'0" W (Figura 1).



**Figura 1.** Localización geográfica de Comalcalco, Tabasco, México.

### 5.2. Descripción del área de estudio

#### 5.2.1. Clima

El municipio de Comalcalco presenta un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano; temperatura media anual entre 24 y 28°C; y precipitación media anual entre 1500 y 3000 mm (INEGI, 2006).

#### 5.2.2. Vegetación

Los SAFC cuentan con una diversidad de flora, la cual depende de la edad y la localidad donde se encuentran las plantaciones. Según Sánchez-Gutiérrez (2012) se pueden encontrar aproximadamente 28 familias, 58 géneros y 67 especies, de las cuales las más importantes *Erythrina americana*, *Erythrina poeppigiana*, *Gliricidia sepium* (Fabaceae), *Cedrela odorata* (Meliaceae) y *Colubrina arborescens* (Rhamnaceae).

### **5.2.3. Material parental**

De acuerdo a un mapa de suelos presentado por Jiménez-Ramírez (2013), los suelos del área de estudio corresponden a grupos representativos principalmente de Fluvisols (FL), Cambisols (CM) y Gleysols (GL). Dichos suelos se desarrollan a partir de depósitos fluviales; el material parental son predominantemente depósitos recientes fluviales, lacustres y marinos. Se desarrollan en llanuras de ríos y abanicos fluviales, valles, depresiones lacustres y marismas en todos los continentes y en todas las zonas climáticas (IUSS, 2015).

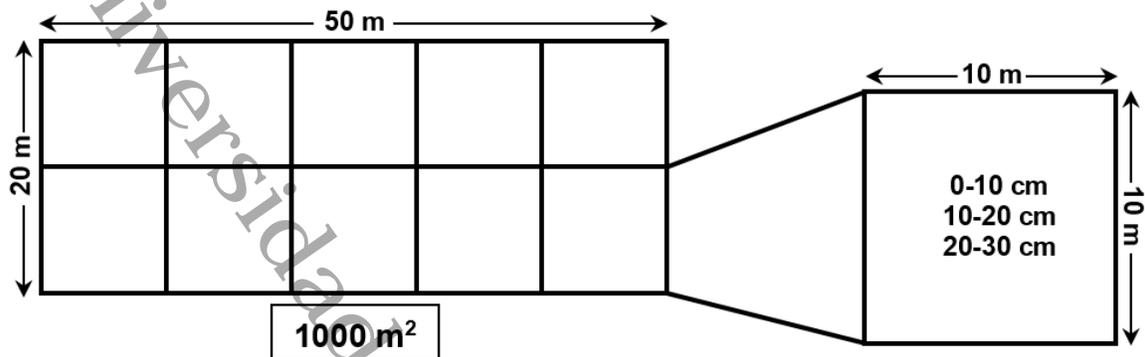
### **5.3. Elaboración de mapa de suelo y definición de puntos de muestreo**

Como fuente de información se utilizó un mapa de suelos de Tabasco, escala 1:250 000 generado por Jiménez-Ramírez (2013). Con los programas Quantum GIS, ArcView 3.2 y ArcGis, Versión 9.3 se delimitó el polígono del área de estudio. Paralelamente se generó un polígono representativo de los SAFC, para ello se realizaron recorridos de campo para georreferenciar 100 parcelas mediante equipo GPS marca Garmin®, modelo GPSMAP® 62s. Las coordenadas de los puntos seleccionados se trasladaron a una imagen SPOT (Ordoñez y Martínez-Alegría, 2003), para posteriormente realizar una interpretación visual en pantalla de aplicando los criterios de tono, forma, tamaño y textura (Chuvienco, 2008). Esta capa de vegetación se sobrepuso al mapa de suelo para identificar la distribución de los SAFC sobre los diferentes grupos de suelos, de estos se seleccionaron los dos grupos de mayor superficie.

### **5.4. Muestreo de suelos en parcelas seleccionadas**

La dimensión de cada una de las parcelas seleccionadas fue de 20 x 50 m (1000 m<sup>2</sup>). En cada parcela se ubicaron 10 sub parcelas; de cada sub parcela se tomó un punto de muestreo (PM) (Figura 2); en cada PM se colectaron dos series de muestras de suelo. La primera serie se colectó a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) para la determinación de textura. La segunda serie se tomó con un

cilindro de acero de volumen conocido, a las profundidades antes mencionadas, para la determinación de la densidad aparente ( $\rho_b$ ) y COS.



**Figura 2.** Diseño para el muestreo de suelos en el sistema agroforestal de cacao en Comalcalco, Tabasco.

### 5.5. Análisis físicos y químicos

De cada parcela de muestreo se evaluaron tres variables. Los métodos utilizados se presentan en el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Análisis físicos y químicos incluidos en la investigación.

| Variables         | Método              | Referencia             |
|-------------------|---------------------|------------------------|
| Textura           | Bouyoucos           | Day (1965)             |
| COS               | Walkley y Black     | Walkley y Black (1934) |
| Densidad Aparente | Método del Cilindro | Blake y Hartge (1986)  |

### 5.6. Procesamiento de las muestras de suelo

El procesamiento de las muestras de suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos y Plantas del Centro de Investigación de Ciencias Agropecuarias (CICA) de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) ubicado en la carretera Villahermosa-Teapa Km. 25+2, de la Ranchería La Huasteca, municipio del Centro, Tabasco, México.

Para la determinación de textura, las muestras fueron secadas a la sombra, molidas con un mazo de madera y tamizadas a un tamaño de partícula de 2 mm. Para la  $\rho_b$ , las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 105°C, hasta obtener peso constante. El peso de suelo seco (PSS) de las muestras fue relacionado con el volumen del cilindro, para determinar la  $\rho_b$ . Las muestras secas fueron molidas y tamizadas para determinar el porcentaje del COS.

### 5.7. Determinación de C en suelos

Se realizaron comparaciones del contenido de C de acuerdo al grupo de suelo, así como también a la profundidad de muestreo (0-10, 10-20 y 20-30 cm). Para ello se utilizó el método de Walkley y Black, el cual tiene como principio la posibilidad de cuantificar el COS mediante la oxidación a través de una mezcla sulfocrómica (Walkley y Black, 1934). Los resultados de este método se expresan en porcentaje de COS respecto a un kilogramo de suelo. De acuerdo con González-Molina *et al.* (2008) y Andrade e Ibrahim (2003) es posible expresar la cantidad de COS en Mg COS ha<sup>-1</sup> a una profundidad determinada, para ello se propone la siguiente ecuación:

$$\text{Mg COS ha}^{-1} = P_s \times \rho_b \times \% C$$

Dónde:

COS = carbono orgánico de suelos, expresado en Mg C ha<sup>-1</sup> = Megagramos (equivalente a una t) de carbono por hectárea.

$P_s$  = profundidad del muestreo en metros (0.10 m). La profundidad de muestreo se realizó a 0-10, 10-20 y 20-30 cm, por lo que en el cálculo se consideró un estrato de 0.10 m para cada una de las profundidades.

$\rho_b$  = densidad aparente (Expresado en Mg m<sup>-3</sup>)

% C = porcentaje del carbono orgánico del suelo obtenido a partir del método Walkley y Black, en cada profundidad.

### **5.8. Análisis estadístico**

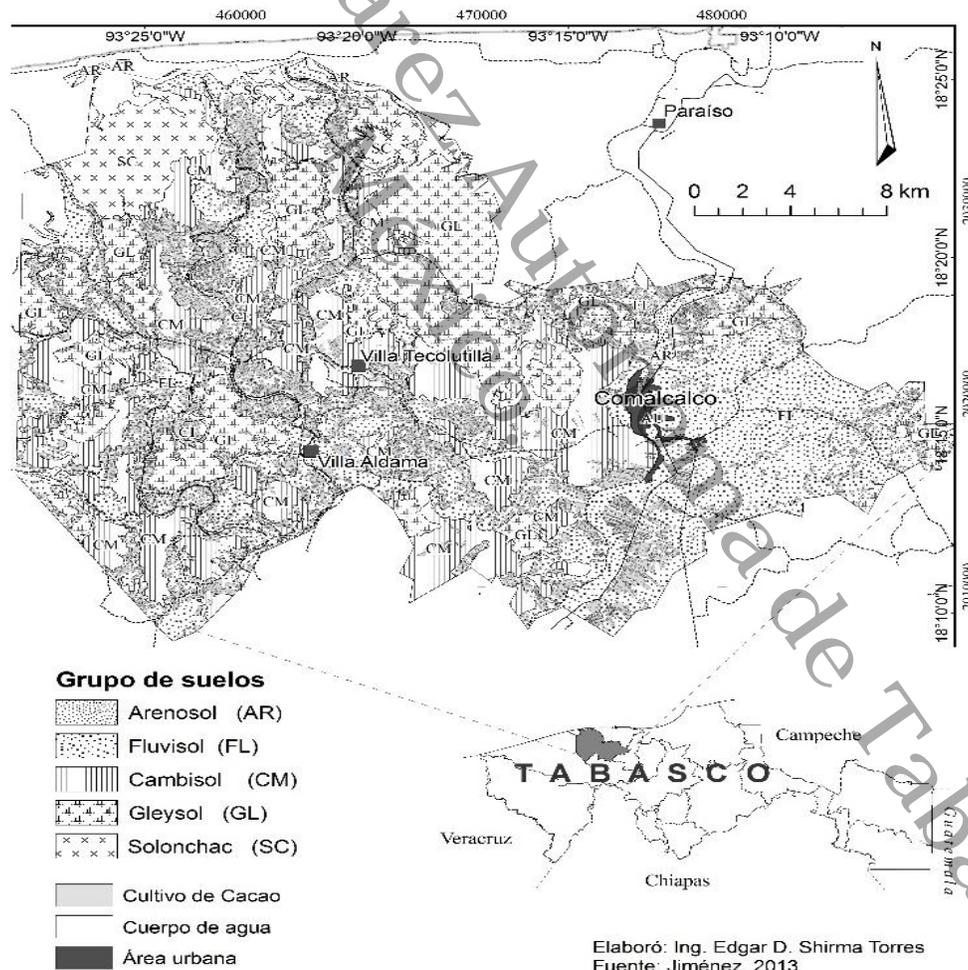
Los datos recabados fueron analizados a través de análisis de varianzas, pruebas de comparación de medias de Tukey y análisis de correlación entre las variables estudiadas, a través del paquete estadístico SAS para Windows versión 6.12 (SAS Institute, 1999).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Los suelos de los SAFC en el municipio de Comalcalco, Tabasco

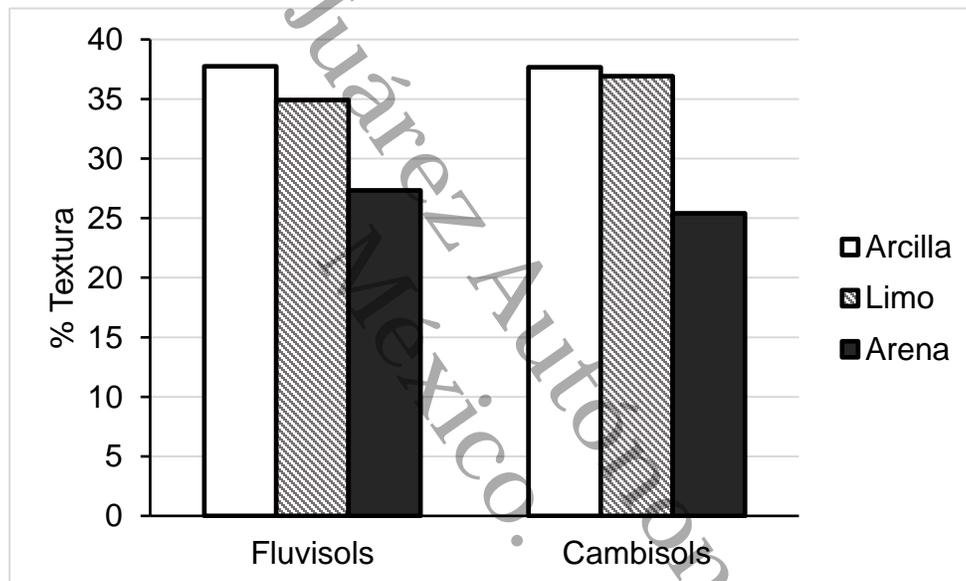
El análisis de imagen del mapa temático de suelos indica que en el municipio de Comalcalco, el SAFC se distribuye en una superficie de 10,548.8 ha que equivale a 15.1 % respecto al total del municipio; dicha superficie se distribuye en tres grupos de suelos: en FL ocupan 9,765 ha, equivalente al 92.6 %; en CM se distribuye una superficie de 578.6 ha que corresponde al 5.5 %; mientras que en GL, el SAFC ocupa una extensión de 205.2 ha que equivale a tan sólo el 1.9 % (Figura 3). Se eligieron los FL y CM por ser los más importantes en superficie, por lo tanto, el 98.1 % del SAFC se cultiva sobre FL y CM.



**Figura 3.** Distribución de los grupos de suelos en el SAFC, en el municipio de Comalcalco, Tabasco.

## 6.2. Textura de los suelos del SAFC en Comalcalco

Los resultados obtenidos en esta investigación no mostraron diferencias estadísticas en la clase textural entre ambos grupos de suelos en la capa superficial 0-30 cm (Figura 4). Dicha clasificación textural correspondió a migajón arcillosa, dominada principalmente por arcillas y limos. Según Bojórquez *et al.* (2007), el origen de suelos jóvenes poco desarrollados como los CM y FL tienen un origen común; sus resultados indican que su formación está acorde al lavado en sales, sodio cambiante y formación de arcilla, acorde a la evolución de las diferentes llanuras en el paisaje (alta, intermedia y baja).



**Figura 4.** Porcentaje de arcilla, limo y arena en Fluvisols y Cambisols.

En cuanto a la distribución de los porcentajes de arcilla, limo y arena en las profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm respectivamente, se observó que en los FL la fracción limo disminuye de acuerdo a la profundidad, aunque no se observa diferencias estadísticas en los contenidos de arcilla y arena en las diferentes profundidades evaluadas. Sin embargo, se alcanza a registrar una tendencia a incrementar el contenido de arcilla en los estratos inferiores (10-20 y 20-30 cm), la cual puede deberse a procesos de pedotransferencias como la eluviación de arcillas. Según Murray *et al.* (2014) los suelos que presentan un clima tropical con precipitaciones anuales superiores a los 1000 mm, registran un intenso proceso de

eluviación. La eluviación se define como la remoción de materiales de un horizonte hacia otro horizonte iluviado o depositados en un horizonte más bajo. Dichos materiales pueden incluir sustancias orgánicas derivadas de la descomposición de la MO, así como partículas minerales finas como son arcillas y limos (Zhang *et al.*, 2004). En el caso de los CM no se observaron diferencias estadísticamente significativas para las fracciones arcilla, limo y arena en las tres profundidades (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Composición mecánica de suelos Fluvisols y Cambisols en tres profundidades de suelo.

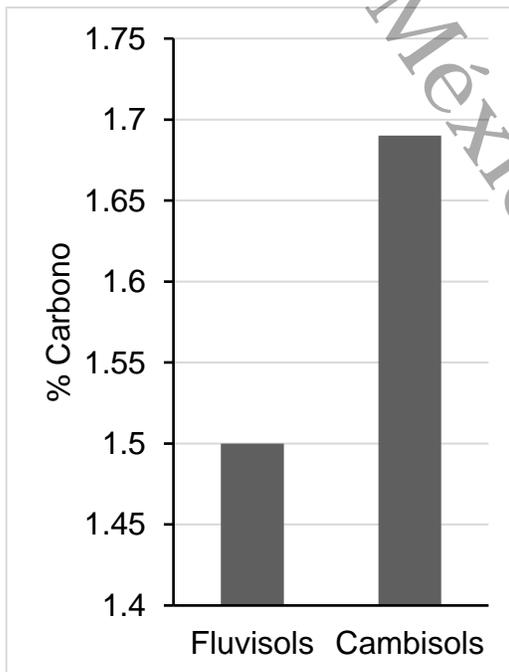
| Suelo | Profundidad<br>(cm) | Arcilla<br>(%) | Limo<br>(%)         | Arena<br>(%) |
|-------|---------------------|----------------|---------------------|--------------|
| FL    | 0-10                | 36.50          | 37.25a <sup>§</sup> | 26.25        |
|       | 10-20               | 38.75          | 34.75ab             | 26.50        |
|       | 20-30               | 38.00          | 32.75b              | 29.25        |
| CM    | 0-10                | 35.75          | 38.25               | 26.00        |
|       | 10-20               | 38.00          | 36.00               | 26.00        |
|       | 20-30               | 39.25          | 36.5                | 24.25        |

§ valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas con valor de probabilidad  $\leq 0.05$ , determinado por prueba de comparación de medias de Tukey.

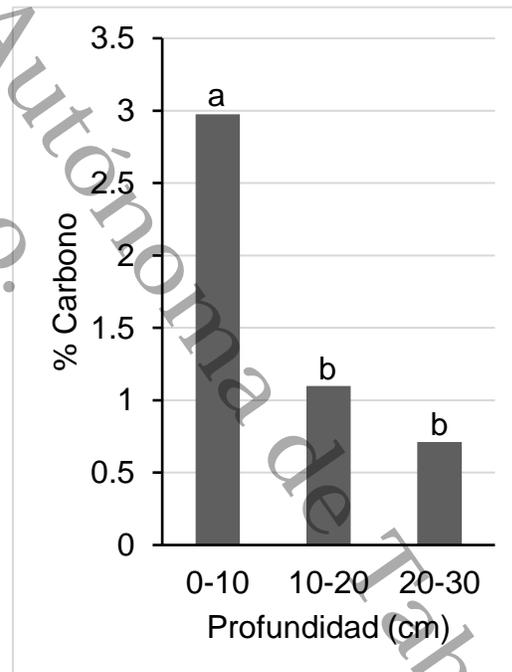
La influencia de la textura del suelo sobre la dinámica de la MOS ha sido documentada en algunas investigaciones; según West y Marland (2003) la MOS se incrementa en suelos arcillosos ya que existe una relación positiva entre las arcillas (textura fina) y los contenidos de la MOS; mientras que los suelos ricos en limo + arcilla, como es el caso de los CM y FL presentan una relación funcional entre el COS y la textura del suelo (Feller y Beare, 1997), ya que protegen mejor la MOS (Romanyá *et al.* 2007). Por su parte, Mtambanengwe *et al.* (2004), mencionan que la mineralización del C disminuye al aumentar el contenido de arcilla, ya que la presencia de poros pequeños, hacen inaccesibles a los microorganismos participantes en la mineralización de la MOS, por lo que se tiende a estabilizar el COS.

### 6.3. Contenidos de C en los suelos del SAFC

La concentración de C entre ambos grupos de suelo no reflejó diferencias estadísticas, sus valores correspondieron a 1.50 % para FL y 1.69 % de C para CM respectivamente (Figura 5). Sin embargo, es importante precisar que de acuerdo con la NOM 021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), un suelo con menos de 1.5 % de MO se clasifica como pobre, mientras que uno que contenga entre 1.6-3.5 % se clasifica con mediano contenido de MO; por lo que independientemente del significado estadístico que se observó en este trabajo, los resultados representan un importante significado edafológico y agronómico en el sistema de producción. Sin embargo, la distribución vertical del C entre las diferentes profundidades sí se diferenció estadísticamente, siendo 2.97 %, 1.09 % y 0.71 % de C en las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm respectivamente (Figura 6). Tanto en CM como en FL, las mayores concentraciones de C se registraron en las capas superiores del suelo.



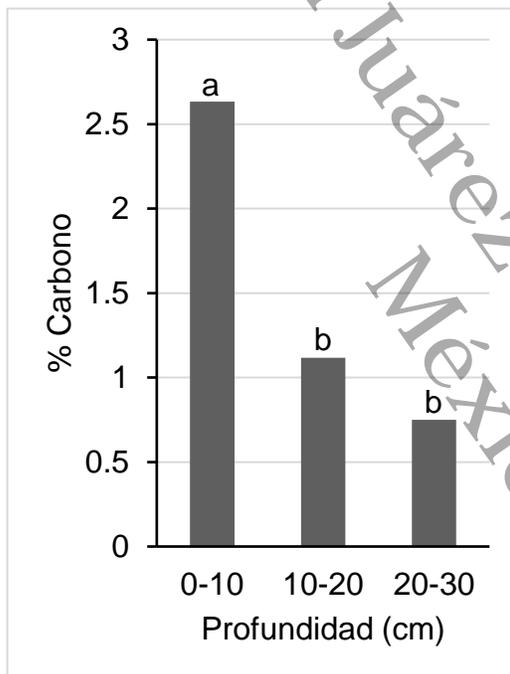
**Figura 5.** Porcentaje de carbono en Fluvisols y Cambisols en el SAFC en el municipio de Comalcalco, Tabasco.



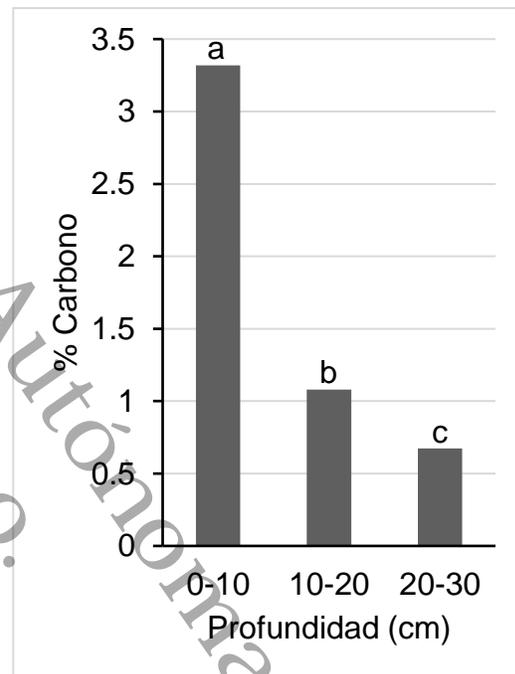
**Figura 6.** Porcentaje de carbono por profundidad en Fluvisols y Cambisols.

Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas con valor de probabilidad  $\leq 0.05$ , determinado por prueba de comparación de medias de Tukey.

En la Figura 7, se observa que en el caso de los FL, la capa 0-10 cm registró 2.63 % de C, cantidad que fue diferente estadísticamente más alta que las dos capas inferiores, las cuales registraron 1.11 % y 0.75 % de C en las profundidades de 10-20 y 20-30 cm respectivamente. Para el caso de los CM, las tres capas fueron diferentes estadísticamente significativas con valores de 3.31 %, 1.08 % y 0.67 % de C en las capas de 0-10, 10-20 y 20-30 cm respectivamente (Figura 8). Se observó un gradiente de disminución de C conforme aumentó la profundidad; lo anterior se confirmó a través de la correlación entre la profundidad y el C edáfico ( $r=-0.80$ ; Prob.  $\leq 0.0001$ ).



**Figura 7.** Porcentaje de carbono en Fluvisols.



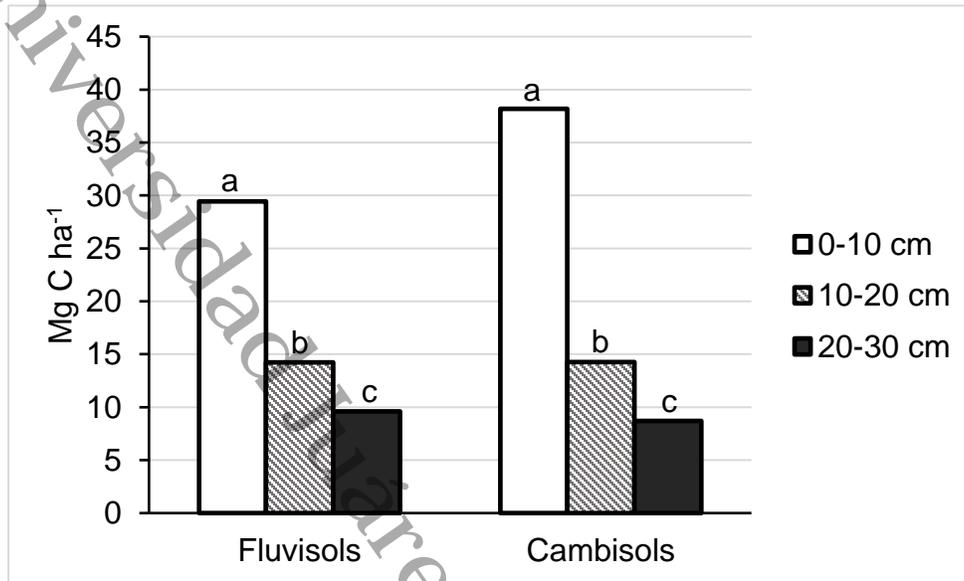
**Figura 8.** Porcentaje de carbono en Cambisols.

Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas con valor de probabilidad  $\leq 0.05$ , determinado por prueba de comparación de medias de Tukey.

Como se puede observar en la Figura 9, en los dos suelos evaluados la concentración de C presenta un gradiente de acumulación que va de las capas superiores a los estratos más profundos. En FL en las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm se acumularon 29.45, 14.22 y 9.6 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente; mientras que en CM se acumularon 38.18, 14.25 y 8.71 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Aunque no se observaron diferencias estadísticas entre los contenidos de C de los CM y FL se observó una tendencia que la capa 0-10 de suelo del CM acumuló una mayor cantidad de C con respecto a la misma capa de los FL. Esa tendencia permite estimar una mayor acumulación de C en el CM siendo de  $61.14 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , mientras que el FL acumuló  $53.27 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . La acumulación de C del SAFC en Comalcalco, están por encima a los reportados por Ramírez-Vela *et al.* (2014), dichos autores mencionan que en una capa de 0-20 cm en suelos de cacao se puede llegar a almacenar hasta  $25.6 \text{ t C ha}$ . Por su parte, Sánchez-Hernández *et al.* (2011), señalan que los suelos de cacao pueden llegar a acumular  $48 \pm 13 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en la capa de suelo de 0-30 cm, de los cuales el 62.5 % se concentra en la capa de suelo de 0-15 cm. Sin embargo reportan que el suelo del cacao, junto con el del arroz y de la caña de azúcar presenta valores de acumulación inferiores que en pastizales. De acuerdo con Hernández-Jiménez *et al.* (2013), el suelo del SAFC puede almacenar cantidades importantes de MO y reservas de C, siempre y cuando dicho sistema se mantenga durante muchos años; según sus cálculos, en la capa de 0-20 cm de suelos del SAFC de edades de 1, 3, 30 y 100 años pueden almacenar hasta 41, 55, 60 y 56  $\text{Mg C ha}^{-1}$  respectivamente. Por su parte, Wei *et al.* (2012) señalan que del total del C que se localiza en el primer metro de profundidad en un agroecosistema de pastizal, más del 50 % se encuentra en los primeros 20 cm; mientras que en el caso de la vegetación secundaria, la concentración del C en esta misma profundidad, oscila entre el 23-31 %. Datos reportados por Cerda-Bustillos *et al.* (2013) indican que el SAFC puede almacenar  $122 \pm 24 \text{ t C ha}^{-1}$ , de los cuales el  $49.3 \pm 8.5 \text{ t C ha}^{-1}$  equivalente al 41 % se almacena en el suelo. Poveda *et al.* (2013) indican que el SAFC puede almacenar  $91.45 \pm 31.44 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , aunque se registraron cacaotales con valores de C entre  $27.35 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y  $158.30 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , de los cuales el  $47.5 \pm 15.8 \text{ Mg C ha}^{-1}$  equivalente al 51.9 % se almacenan en el suelo; según estos autores una de las razones que limitan la cantidad del C almacenado es el nivel de la diversidad arbórea presente en el sistema. En este mismo sentido, Gama-Rodriguez *et al.* (2010) señalan que dependiendo del tipo de árboles de sombra que se utilicen en el sistema, el SAFC puede llegar a almacenar

entre 90.4-127.3 Mg C ha<sup>-1</sup>, cantidad que es superior a los 67.7 Mg C ha<sup>-1</sup> que pueden acumular los bosques naturales.



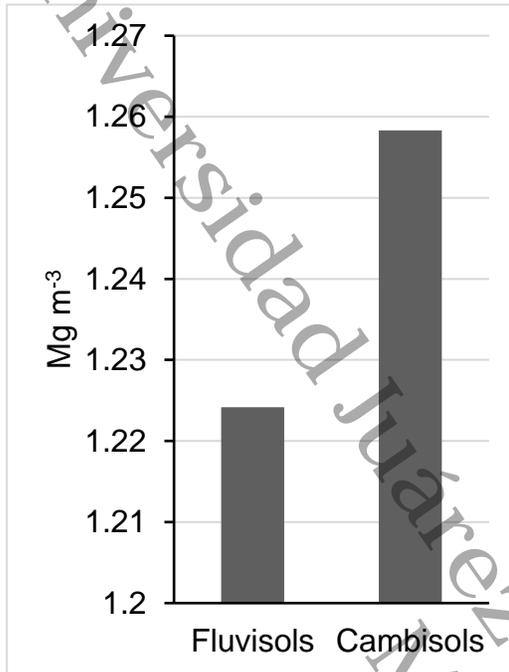
**Figura 9.** Carbono por grupo de suelo expresado en Mg C ha<sup>-1</sup>.

Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas con valor de probabilidad  $\leq 0.05$ , determinado por prueba de comparación de medias de Tukey.

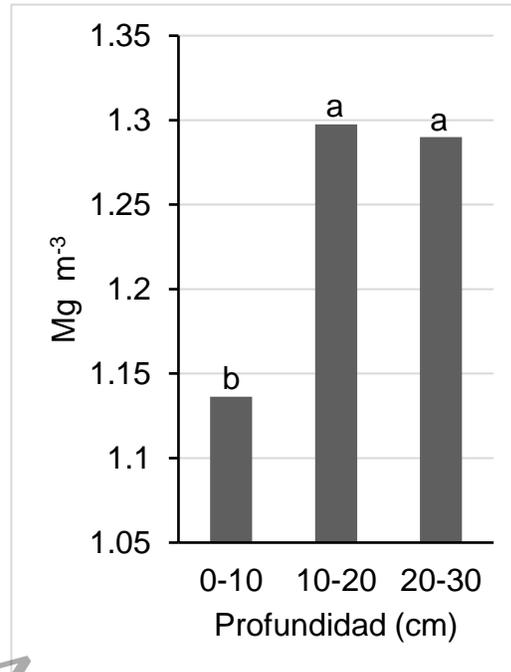
#### 6.4. La $\rho_b$ en los suelos del SAFC

Con respecto a la  $\rho_b$ , se observa que no hubo diferencia significativa entre ambos suelos (Figura 10); no obstante que entre profundidades sí se observaron diferencias estadísticamente significativas, siendo menor en la capa superior (0-10 cm) (Figura 11). El análisis de correlación reveló un incremento de la  $\rho_b$  del suelo conforme aumentó la profundidad ( $r=0.64$ ; Prob.  $\leq 0.0007$ ). En ambos suelos se observó que la  $\rho_b$  fue más baja en la capa 0-10 cm, con respecto a las dos capas más profundas (10-20 y 20-30 cm). De acuerdo con Alvarado *et al.* (2013), a medida que aumenta el C del suelo, la  $\rho_b$  se reduce. Por su parte, Basaran *et al.* (2008) y Nascente *et al.* (2015) señalan que la  $\rho_b$  disminuye en sitios donde el C del suelo es más alto. Esos resultados son congruentes con los que se reporta en la presente investigación, ya que la concentración diferenciada del C en las diferentes profundidades del suelo, tuvo una clara correlación sobre la variable  $\rho_b$  ( $r=-0.65$ ;

Prob.  $\leq 0.0006$ ), por lo que tanto en CM y FL, la  $\rho_b$  fue más baja en la capa 0-10 cm con respecto a las dos capas inferiores (Figura 11).



**Figura 10.** Densidad aparente en Fluvisols y Cambisols.

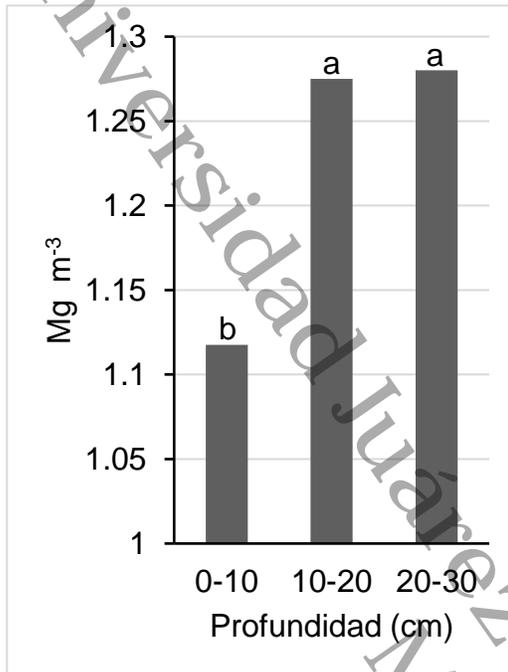


**Figura 11.** Densidad aparente por profundidad en Fluvisols y Cambisols.

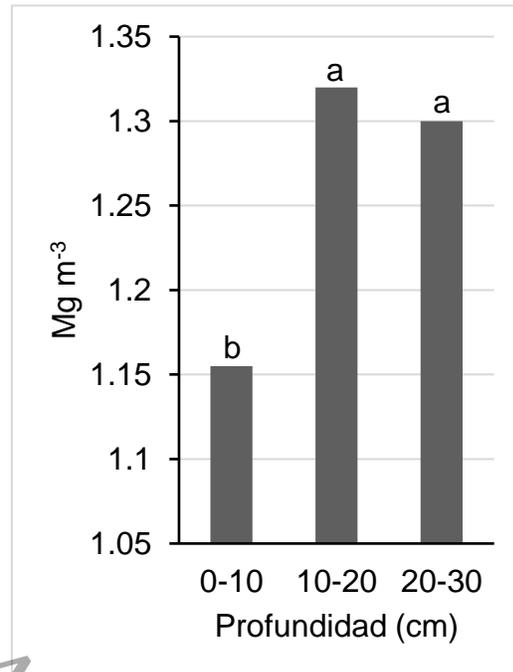
Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas con valor de probabilidad  $\leq 0.05$ , determinado por prueba de comparación de medias de Tukey.

Las diferencias observadas entre la primera profundidad y los dos estratos más profundos se registraron en los FL y CM (Figura 12 y 13). Se ha documentado que la  $\rho_b$  se reduce cuando el suelo incrementa su porosidad debido a la agregación del suelo provocada por un incremento en el contenido de C en el suelo. Según Lal (2004), el C del suelo y su dinámica se encuentran estrechamente relacionados con la fauna edáfica, la cual es considerada como un factor muy influyente sobre las propiedades físicas y biológicas del suelo, especialmente las relacionadas con la estructura, la porosidad, aireación, infiltración, drenaje, ciclaje de nutrientes, así como los flujos de la MOS. Por su parte Carvajal *et al.* (2009) señalan que la distribución vertical del COS debido al aporte de la necromasa proveniente de los

diferentes sistemas de uso del suelo incrementa la actividad y diversidad de la entomofauna, lo que se ve reflejado en una disminución de la  $\rho_b$ .



**Figura 12.** Densidad aparente en Fluvisols.



**Figura 13.** Densidad aparente en Cambisols.

Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas con valor de probabilidad  $\leq 0.05$ , determinado por prueba de comparación de medias de Tukey.

El aporte continuo de biomasa, procedente de los árboles de sombra, contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, reduciendo la  $\rho_b$  en la superficie del suelo (Salamanca-Jiménez y Sadeghian-Khalajabadi, 2005). Al respecto Kay y VandenBygaart (2002) mencionan que en suelos no perturbados la cantidad de MOS tiende a incrementarse, por lo que el volumen de poros grandes (100–500  $\mu\text{m}$ ) aumenta; mientras que en suelos perturbados por la labranza esos tamaños de poros tienden a disminuir, aumentando por su parte los poros más pequeños (30-100  $\mu\text{m}$ ). Esto explica en parte porque en los suelos no perturbados como los del SAFC, la porosidad es mayor en la capa superior, misma que se refleja en una menor  $\rho_b$ . Autores como Duchaufour y Souchier (1987) y Pritchett (1986) mencionan que suelos de textura arcillosa como los FL y CM presentan una porosidad dominada por poros pequeños y finos, lo que reduce la velocidad de

infiltración, evitando que COS se transporte a las capas más profundas, por lo que la acumulación de C genera una mayor agregación en la capa superior y por lo tanto mejores propiedades físicas como la  $\rho_b$  y la porosidad. Salamanca-Jiménez y Sadeghian-Khalajabadi (2005) documentaron que el aumento del tamaño de las partículas de suelo reduce la agregación y la estabilidad de los agregados, permitiendo que las partículas de menor tamaño y los agentes agregantes sean arrastrados con mayor facilidad por el agua, con lo que aumentan los riesgos de erosión y disminuye la fertilidad de los suelos. Sánchez-Hernández *et al.* (2006), mencionan que el C puede permanecer más tiempo en agregados de 250-500  $\mu\text{m}$ , ya que estos se consideran más estables que los agregados de mayor tamaño, debido a que son más ricos en C.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## VII. CONCLUSIONES

- La superficie del SAFC en el municipio de Comalcalco equivale al 15.1 % de la superficie total del estado de Tabasco. El SAFC se encontró distribuido en tres unidades de suelos: Fluvisols, Cambisols y Gleysols, cubriendo una superficie de 10,548.8 ha. El Fluvisols es el grupo de suelo de referencia que ocupa una mayor superficie (9,765 ha), seguidos de Cambisols (578.6 ha) y Gleysols (205.2 ha).

- Considerando una superficie de 9,765 ha de Fluvisols, éstos tuvieron un potencial de almacenamiento de  $53.27 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , mientras que en una superficie de 578.6 ha de Cambisols, el potencial de almacenamiento fue de  $61.14 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Si se toma en cuenta que la superficie del SAFC en Gleysols no supera el 2 % de la superficie del municipio, se concluye que el SAFC en Comalcalco, puede alcanzar una tasa de acumulación de  $555,557.15 \text{ Mg C}$  en los primeros 30 cm de la superficie del suelo.

- Con respecto a la hipótesis planteada en este trabajo se rechaza la hipótesis alternativa, ya que no se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la cantidad de carbono almacenado entre los grupos de suelos Fluvisols y Cambisols.

- Los Fluvisols y Cambisols cultivados con el SAFC se caracterizaron por presentar una textura migajón arcillosa dominada principalmente por arcillas y limos.

- En ambos grupos de suelos se observó un gradiente en la distribución vertical del carbono, que va de mayor a menor desde la superficie hacia los estratos inferiores.

- Se determinó que con respecto a la capa de 0-30 cm de profundidad del suelo, el 62 y 55 % del carbono se acumulan en la capa de 0-10 cm en Cambisols y Fluvisols respectivamente.

- El carbono edáfico acumulado tuvo un afecto favorable sobre la densidad aparente, por lo que en la capa superior de 0-10 cm se observó una reducción de esta variable física.

## VIII. LITERATURA CITADA

Alvarado, J., Andrade, H.J. y Segura, M. 2013. Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia. Colombia Forestal 16 (1):21-31.

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

Andrade, H.J., Figueroa, J.M. del P. y Silva, D.P. 2013. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). Scientia Agroalimentaria 1:6-10.

Arellano, E., Meza, F., Miranda, M. y Camaño, A. 2013. Cambio global: el cuidado de los humedales y su rol en el secuestro de carbono. Agronomía y Forestal (47):22-27.

Barrón-García, Y.P., Azpeitia-Morales, A., López-Andrade, P.A., Mirafuentes-Hernández, F. 2014. Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5 (5):765-777.

Basaran, M., Erpul, G., Tercan, A.E., y Canga, M.R. 2008. The effects of land use changes on some soil properties in Indai Mountain Pass-Çankiri, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 136 (1-3):101-119.

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

Benjamín-Ordoñez, J.A. y Maserá, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y Bosques 7 (1):3-12.

Blake, G.R. y Hartge, K.H. 1986. Bulk Density. *In: A Klute (ed.) Methods of soil analysis, Part I. Second edition. American Society of Agronomy, Madison, Agronomy 9: 363-375.*

Bojórquez, I., Hernández, A., García, D., Nájera, O., Flores, F., Madueño, A. y Bugarín, R. 2007. Características de los suelos cambisoles y fluvisoles de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales 28 (1):19-24.*

Carvajal, A.F, Feijoo, A., Quintero, H. y Rondón, M.A. 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.*

Cerda-Bustillos, R., Espin-Chion, T. y Cifuentes, M. 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (49):33-41.*

Chuvieco, E. 2008. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. 3ra. Edición. Ariel. Madrid, España. 594 p.

Ćirić, V., Manojlović, M., Belić, M., Nešić, L. y Šeremešić, S. 2013. Effects of land use conversion on soil aggregate stability and organic carbon in different soils. *Agrociencia 47 (6):539-552.*

Concha, J.Y., Alegre, J.C. y Pocomucha, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología aplicada 6 (1-2):75-82.*

Day, R.P. 1965. Hydrometer method of particle size analysis. pp: 545-552. *In: Methods of soil analysis. Agronomy 9. ASA. USA.*

Díaz-José, O., Aguilar-Ávila, J., Rendón-Medel, R. y Santoyo-Cortés, V.H. 2013. Current state of and perspectives on cocoa production in Mexico. *Ciencia e Investigación Agraria* 40 (2):279-289.

Duchaufour Ph, Souchier B. 1987. *Edafología, Tomo 2: constituyentes y propiedades del suelo*. Masson, Barcelona, 461 p.

Eswaran, H., Van Den Berg, E. y Reich, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal* 57:192-194.

FAO. 2002. *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra, informe sobre los recursos mundiales de suelo* 96. Roma. 61 p.

Feller, C. y Beare, H.M. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79:69-116.

Follett, R.F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research* 61:77-92.

Gama-Rodrigues, E.F., Nair, P.R., Nair, V.D., Gama-Rodrigues, A.C., Baligar, V.C. y Machado, R.C. 2010. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. *Environmental management* 45 (2):274-283.

González-Molina, L., Etchevers, J.D. e Hidalgo-Moreno, C. 2008. Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo. *Agrociencia* 42 (7):741-751.

Hernández-Jiménez, A., Vera-Macías, L., Naveda-Basurto, C.A., Véliz-Mantuano, F.W., Guzmán-Cedeño, A.M., Vivar-Arrieta, M., Roberto-Zambrano, T., Mesías-Gallo, F. y Ormanza-Cedeño, K. 2013. Impactos del cambio de uso de la tierra en la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *ESPAMCIENCIA* 4 (2):59-66.

INEGI. 2006. Síntesis Geográfica y anexo Cartográfico del Estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática. Aguascalientes, México. Disponible en línea: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/>. Fecha de consulta: 20 de Septiembre de 2016.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2016. El ciclo global del carbono. Disponible en línea: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/jaramillo.html>. Fecha de consulta: 23 de Junio de 2016.

IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma, Italia. 106 p.

Jiménez-Ramírez, R. 2013. Clasificación y caracterización de suelos de Tabasco con base en el enfoque geomorfopedológico. M.Sc. Tesis. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas Tabasco, México. 158 p.

Jobbágy, E. G. y Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications* 10 (2): 423-436.

Kay, B.D. y VandenBygaart, A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil and Tillage Research* 66 (2):107-118.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123 (1):1-22.

Lozano-Torres, Y. 2007. Los sumideros de carbono: un análisis de la potencialidad económica en un bosque de manglar del pacífico colombiano. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* (6):82-92.

Martín-Chivelet, J. 2010. Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 18 (1):33-46.

Martínez, E., Fuentes, J.P., Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1): 68-96.

Moreno-Gómez, N. 2012. Diversidad arbórea y captura de carbono en cacaotales en Comalcalco, Tabasco. Tesis. UJAT-DACBIOL. Centro, Tabasco. 65 p.

Mtambanengwe, F., Mapfumo, P., y Kirchmann, H. 2004. Decomposition of organic matter in soil as influenced by texture and pore size distribution. In: *Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in sub-Saharan Africa*. Naibori, Academy Science Publishers- Tropical Soil Biology and Fertility Institute of CIAT. 261-275 p.

Murray, R.M., Orozco, M.G., Hernández, A., Lemus, C. y Nájera, O. 2014. El sistema agroforestal modifica el contenido de materia orgánica y las propiedades físicas del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 8 (1):23-31.

Nair, R. 1997. *Agroforestería*. CADS. Primera edición en español. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 543 p.

Nascente A.S., Li, Y. y Crusciol, C.A.C. 2015. Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39 (3):871-879.

Ordoñez, G.C. y Martínez-Alegría, L.R. 2003. Sistemas de Información Geográfica. Alfaomega. México. 227 p.

Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2016. Consulta en línea: <http://faostat3.fao.org/home/S>. Fecha de consulta: 24 de Junio 2016.

Ortiz, A., Riascos, L. y Somarriba, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas* 46:26-29.

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

Pardos, J.A. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. 253 p.

Poveda, V., Orozco, L., Medina, C., Cerda, R. y López, A. 2013. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de cacao en Waslala, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 49:42-50.

Pritchett W.L. 1986. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. México. 634 p.

Ramírez-González, S.I. 2008. La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha* 21(1):97-110.

Ramírez-Vela, C.A., Panduro-Pisco, G. y Miranda-Ruíz, E. 2014. Captura de carbono en un sistema agroforestal con *Theobroma cacao* en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali-Pucallpa-Perú. Revista Tzhoecoen 6(2):165-180.

Ramos-Reyes, R., Palma-López, D.J., Ortiz-Solorio, C.A., Ortiz-García, C.F. y Díaz-Padilla, G. 2004. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. Terra Latinoamericana 22 (3):267-278.

Romanyá, J., Rovira, P. y Vallejo, R. 2007. Análisis del carbono en los suelos agrícolas de España. Aspectos relevantes en relación a la reconversión a la agricultura ecológica en el ámbito mediterráneo. Revista Ecosistemas 16 (1):50-57.

Salamanca-Jiménez, A. y Sadeghian-Khalajabadi, S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé 56 (4):381-397.

Sánchez-Gutiérrez, F. 2012. Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas, Tabasco. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Cárdenas, Tabasco. 77 p.

Sánchez-Hernández, R., Mendoza-Palacios, J.D. y Salcedo-Pérez, E. 2013. Los sistemas agroforestales: una alternativa para el manejo sustentable de bosques y agroecosistemas, pp: 358-374. En: Salcedo-Pérez, E., Hernández-Álvarez, E., Vázquez-García, J.A., Escoto-García, T. y Díaz-Echavarría, N. (Eds.), Recursos forestales en el Occidente de México: Biodiversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Sánchez-Hernández, R., Ordaz-Chaparro, V.M., Benedicto-Valdés, G.S., Hidalgo-Moreno, C.I., Palma-López, D.J. 2006. Regeneración estructural de un

suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 22 (1):13-26.

Sánchez-Hernández, R., Ramos-Reyes, R., Geissen, V., Mendoza-Palacios, J.D., De la Cruz-Lázaro, E., Salcedo-Pérez, E. y Palma-López, D.J. 2011. Contenido de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana* 29 (2):211-219.

Sandoval-Estrada, M., Stolpe-Lau, N., Zagal-Venegas, E, Mardones-Flores, M. y Junod-Montano, J. 2003. El secuestro de carbono en la agricultura y su importancia con el calentamiento global. *Theoria* 12: 65-71.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT, Guide for personal computer. Ver. 6.12. Cary, NC, USA. 889 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. NOM-021-SEMARNAT-2000 Norma Oficial Mexicana, Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos, Estudio, Muestreo y Análisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 85 p. Disponible en línea: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>. Fecha de consulta: 18 de Agosto de 2016.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Consulta en línea: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Fecha de consulta: 25 de Junio 2016.

Shalisko, V. y Vázquez-García, J.A. 2013. Captura de carbono en ecosistemas forestales de San Andrés, Talpa de Allende, Jalisco, pp: 328-357. En: Salcedo-Pérez, E., Hernández-Álvarez, E., Vázquez-García, J.A., Escoto-García, T. y Díaz-Echavarría, N. (Eds.), *Recursos forestales en el Occidente de México: Biodiversidad, manejo, producción, aprovechamiento y conservación*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.

Six J., Bossuyt, H., Degryze, S. y Deneff, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics, Review, Soil & Tillage Research 79:7-31.

Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil 241:155-176.

Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T., Mavisoy, H., Ávila, G., Alvarado, E., Poveda, V., Astorga, C., Say, E. y Deheuvels, O. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. Agriculture, Ecosystems and Environment 173:46–57.

Somarriba, E. y Harvey, C.A. 2003. ¿Cómo integrar producción sostenible y conservación de biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas?. Agroforestería en las Américas 10 (37-38):12-17.

Somarriba, E., Villalobos, M., Sucre, L., López, M., Torres, F., Torres, A. y Rodríguez, K. 2008. El proyecto: Captura de carbono y desarrollo de mercados ambientales en cacaotales y otros sistemas agroforestales indígenas en Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas (46):8-13.

Torres de la Cruz, M., Ortiz-García, C.F., Téliz-Ortiz, D., Mora-Aguilera, A. y Nava-Díaz, C. 2013. Efecto de Azoxystrobin sobre *Moniliophthora roreri*, agente causal de la moniliasis del cacao (*Theobroma cacao*). Revista Mexicana de Fitopatología 31 (1):65-69.

Verhulst, N., Francois, I.M. y Govaerts, B. 2015. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: entre el mito y la realidad del agricultor. CIMMYT. Texcoco, Edo. México. 16 p.

Villavicencio, A. 2004. Mitos y realidad del Mecanismo de Desarrollo Limpio. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 1:56-65.

Walkley, A. y A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.

Wei, J., Cheng, J., Li, W. y Liu, W. 2012. Comparing the effect of naturally restored forest and grassland on carbon sequestration and its vertical distribution in the Chinese Loess Plateau. *PLoS one* 7 (7):e40123.

West, T.O. y Marland, G. 2003. Net carbon flux from agriculture: Carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use change. *Biogeochemistry* 63:73-83.

Zhang, B., Peng, X.H., Zhao, Q.G., Hallett, P.D. 2004. Eluviation of dissolved organic carbon under wetting and drying and its influence on water infiltration in degraded soils restored with vegetation. *European journal of soil Science* 55 (4):725-737.

Zou, X.M., Ruan, H.H., Fu, Y., Yang, X.D. y Sha, L.Q. 2005. Estimating soil labile organic carbon and potential turnover rates using a sequential fumigation-incubation procedure. *Soil Biology and Biochemistry* 37 (10):1923-1928.

# Almacenamiento de Carbono en suelos del sistema agroforestal cacao en Comalcalco, Tabasco, México.

INFORME DE ORIGINALIDAD

# 15%

ÍNDICE DE SIMILITUD

## FUENTES PRIMARIAS

|   |                                                                                            |                    |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1 | <a href="http://posgrado.ecosur.mx">posgrado.ecosur.mx</a><br>Internet                     | 400 palabras — 4%  |
| 2 | <a href="http://colposdigital.colpos.mx:8080">colposdigital.colpos.mx:8080</a><br>Internet | 116 palabras — 1%  |
| 3 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Internet                             | 86 palabras — 1%   |
| 4 | <a href="http://www.dtforum.net">www.dtforum.net</a><br>Internet                           | 67 palabras — 1%   |
| 5 | <a href="http://pmcarbono.org">pmcarbono.org</a><br>Internet                               | 65 palabras — 1%   |
| 6 | <a href="http://bco.catie.ac.cr">bco.catie.ac.cr</a><br>Internet                           | 58 palabras — 1%   |
| 7 | <a href="http://edoc.tips">edoc.tips</a><br>Internet                                       | 56 palabras — 1%   |
| 8 | <a href="http://ridum.umanizales.edu.co">ridum.umanizales.edu.co</a><br>Internet           | 48 palabras — 1%   |
| 9 | <a href="http://ri.ujat.mx">ri.ujat.mx</a><br>Internet                                     | 43 palabras — < 1% |

|    |                                                                                                                     |                    |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 10 | Internet                                                                                                            | 40 palabras — < 1% |
| 11 | <a href="http://www.congresoforestal.es">www.congresoforestal.es</a><br>Internet                                    | 36 palabras — < 1% |
| 12 | <a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a><br>Internet                                                | 32 palabras — < 1% |
| 13 | <a href="http://www.redalyc.org">www.redalyc.org</a><br>Internet                                                    | 27 palabras — < 1% |
| 14 | <a href="http://www.tandfonline.com">www.tandfonline.com</a><br>Internet                                            | 27 palabras — < 1% |
| 15 | <a href="http://repositorio.untrm.edu.pe">repositorio.untrm.edu.pe</a><br>Internet                                  | 25 palabras — < 1% |
| 16 | <a href="http://ri.uaemex.mx">ri.uaemex.mx</a><br>Internet                                                          | 25 palabras — < 1% |
| 17 | <a href="http://www.scielo.org.co">www.scielo.org.co</a><br>Internet                                                | 25 palabras — < 1% |
| 18 | <a href="http://sired.udenar.edu.co">sired.udenar.edu.co</a><br>Internet                                            | 24 palabras — < 1% |
| 19 | Yue, . "Surface Modeling of Soil Properties",<br>Applied Ecology and Environmental<br>Management, 2011.<br>Crossref | 22 palabras — < 1% |
| 20 | <a href="http://abanicoacademico.mx">abanicoacademico.mx</a><br>Internet                                            | 22 palabras — < 1% |
| 21 | <a href="http://krex.k-state.edu">krex.k-state.edu</a><br>Internet                                                  | 22 palabras — < 1% |

- 
- 22 [uenf.br](http://uenf.br)  
Internet 21 palabras — < 1%
- 
- 23 [www.laneta.apc.org](http://www.laneta.apc.org)  
Internet 21 palabras — < 1%
- 
- 24 Roxana Jhoana Domínguez Bautista, Aydee Tobías Baeza, Silvia Del Carmen Ruíz Acosta, Pedro Salvador Morales et al. "Almacenamiento de carbono y agua en un área periurbana de Tabasco", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2019  
Crossref 20 palabras — < 1%
- 
- 25 [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)  
Internet 20 palabras — < 1%
- 

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 20 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.