



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**División Académica de Ciencias Biológicas**

**ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN POTREROS CON ÁRBOLES  
DISPERSOS EN TACOTALPA, TABASCO.**

**TESIS**

Requisito parcial para optar el grado de Maestría en Ciencias Ambientales

**Por**

Ing. Fabiola Guadalupe Valenzuela Que

**ASESORES**

Asesora Dra. Luisa del Carmen Cámara Cabrales  
DACBIOL, UJAT

Asesor MC. Gilberto Villanueva López  
ECOSUR

**ENERO 2014**

## LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

- (ECOSUR): El Colegio de la Frontera Sur
- (SAF): Sistemas Agroforestales
- (SSP): Sistemas silvopastoriles
- (PF): Peso fresco
- (CABt): Carbono Almacenado en la Biomasa total
- (IPCC): Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
- (GEI): Gases de Efecto Invernadero
- (CO<sub>2</sub>): Dióxido de Carbono
- (C): Carbono
- (ppm): Partes por millón
- (Mg): Mega gramos =
- (CV): Cercas vivas
- (ADP): Árboles dispersos en potreros
- (PPF): Pastoreo en plantaciones forestales
- (ha): hectárea
- (DAP): Diámetro a la altura del pecho
- (SGC): Sistema ganadero convencional
- (MDP): Monocultivos de pasto
- (C.B.A): Carbono en biomasa aérea.
- (D.A): Densidad aparente del suelo
- (M.O): % de materia orgánica del suelo
- (C.O.S.): Carbono orgánico del suelo

## Dedicatoria

A mis padres Miguel e Isabel, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por su cariño mil gracias.

A mi hijo José Jesús Valenzuela Que, que con su alegría me motivo a seguir adelante, y el que me enseñó que la vida no es tan difícil como parece.

## Agradecimientos

A mis Asesores la Dra. Luisa del Carmen Cámara Cabrales y al M. en C. Gilberto Villanueva por su tiempo y dedicación a este trabajo, por compartir sus conocimientos. Gracias

Al Dr. Pablo Martínez Zurimendi por la aportación de los recursos para realizar los análisis de suelo, y por el tiempo dedicado a este trabajo.

Al M. en C. Alejandro Alcudia por sus consejos, alegrías y por su amistad incondicional. Gracias por todo.

A mis hermanos Miguel y Eugenio, por su apoyo en el trabajo de campo, sin ellos no hubiera sido posible.

A mi hermana Yuri y mi sobrina Alinne, por compartir sus risas, alegrías y travesuras.

A los sinodales externos Dr. José Luis Martínez, Dra. Ena Mata Zayas por sus comentarios y el tiempo dedicado a la revisión de esta tesis

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

### CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza 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 de Maestría denominado: **“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN POTREROS CON ÁRBOLES DISPERSOS EN TACOTALPA, TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa 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 el Día 22 de Enero de 2014

AUTORIZO



---

FABIOLA GUADALUPE VALENZUELA QUE



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



ENERO 22 DE 2014

**C. FABIOLA GUADALUPE VALENZUELA QUE  
PAS. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
PRESENTE**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **“ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN POTREROS CON ÁRBOLES DISPERSOS EN TACOTALPA, TABASCO”**, asesorado por la Dra. Luisa del Carmen Cámara Cabrales, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Luis Martínez Sánchez, Dr. Pablo Martínez Zurimendi, Dra. Luisa del Carmen Cámara Cabrales, Mtro. Gilberto Villanueva López y Dra. Ena Edith Mata Zayas.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ  
DIRECTORA**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo



## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES .....	5
Método para cuantificar o estimar el almacenamiento de carbono .....	7
<i>Método para estimar biomasa en la vegetación</i> .....	7
<i>Método directo</i> .....	7
JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	10
Objetivos específicos.....	10
HIPÓTESIS .....	10
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
Ubicación de la región de estudio.....	11
Figura 1. Localización del área de estudio (Imagen tomada del Google Earth, 2012). 11	
Selección de los sistemas de estudio.....	12
<i>Características de los sistemas de estudio</i> .....	12
<i>Árboles dispersos en potreros (ADP)</i> .....	12
Diseño de muestreo y parcelas de estudio .....	12
Figura 1. Diagrama de la parcela circular de 1000 m <sup>2</sup> para la cuantificación del carbono en los diferentes reservorios en potreros con arboles dispersos. ....	13
Sistema ganadero convencional.....	14
Figura 2. Diagrama de la parcela rectangular de 300 m <sup>2</sup> para la cuantificación del carbono herbáceo en potreros bajo monocultivo de pasto. Dentro de las parcelas se realizaron tres subparcelas de 1 x 1 (1m <sup>2</sup> )......	14
Métodos de muestreo .....	14
A) <i>Producción de biomasa arbórea (aérea y subterránea)</i> .....	14
B) <i>Producción de biomasa herbácea</i> .....	15
C) <i>Producción de hojarasca</i> .....	15
Estimación de Carbono en árboles (sobre y debajo del suelo).....	16

Estimación de Carbono en raíces.....	17
Muestreo y determinación de carbono orgánico en el suelo y densidad aparente en las MDP de los sistemas a estudiar .....	17
Densidad aparente (DA).....	17
Estimación de Carbono orgánico en suelo.....	18
REFERENCIA.....	19
Capítulo II Artículo.....	24
ESTIMACIONES DE CARBONO EN POTREROS CON ARBOLES DISPERSOS EN LA SIERRA DE TACOTALPA, TABASCO .....	24
ESTIMACIONES DE CARBONO EN POTREROS CON ARBOLES DISPERSOS EN LA SIERRA DE TACOTALPA, TABASCO .....	25
RESUMEN.....	25
ABSTRACT .....	26
INTRODUCCIÓN.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
Área de estudio.....	29
Características de los Sistemas. <i>Árboles dispersos en potreros (ADP) y Monocultivo de pastos (MDP)</i> .....	29
Parcelas de estudio.....	30
Sistema monocultivo de pastos (MDP).....	31
Producción de biomasa arbórea (aérea y subterránea).....	31
Producción de biomasa herbácea en los ADP y MDP .....	32
Producción de hojarasca en los ADP .....	32
<i>Estimación de Carbono en raíces</i> .....	33
<i>Estimación de Carbono orgánico en suelo (COS)</i> .....	33
RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	34
Biomasa .....	34
Biomasa y Carbono en hojarasca.....	35
Carbono orgánico del suelo.....	35

Biomasa y Carbono de las herbáceas (pastos).....	36
CONCLUSIONES.....	37
REFERENCIAS .....	37
ANEXO DE FIGURAS .....	42
Figura 1 Ubicación de los sitios de estudio.....	42
Figura 3. Muestra los Mg de Carbono ha <sup>-1</sup> en hojarasca en los diferentes meses para ADP. ....	43
ANEXO DE CUADROS.....	44

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## INTRODUCCIÓN

El carbono (C) es un componente básico y fundamental para la vida. Está presente en la atmósfera, en la vida vegetal y animal, en la materia orgánica no viva, en los combustibles fósiles, en las rocas, y también está disuelto en los océanos (McVay y Rice, 2002).

Las reservas atmosféricas de carbono son una parte pequeña del carbono existente en el planeta, pero son muy importantes para el ciclo del carbono y vulnerables a las perturbaciones ocasionadas por el hombre. Las variaciones de estas reservas, a su vez, modifican el clima y los patrones climáticos, de manera que afectan directamente la vida sobre la tierra. De hecho, durante la última mitad del siglo XX la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera ha tenido un aumento significativo junto con la otros gases de efecto invernadero que reflejan el calor solar que regresa hacia la tierra (Odum y Warrett, 2006). Este aumento es debido a actividades antropogénicas de consumo de combustibles fósiles, deforestación y cambio de uso del suelo.

El CO<sub>2</sub> se libera a la atmosfera principalmente debido a la quema de combustibles fósiles y otros materiales y a los procesos de respiración y degradación de los organismos (tanto plantas como animales). Es removido de la atmosfera a través de la fotosíntesis que llevan a cabo los organismos vegetales y por los océanos (Maser *et al.*, 2000).

Los ecosistemas que retiran dióxido de carbono de la atmosfera son conocidos bajo el nombre de sumideros de carbono. Los sumideros almacenan carbono

en compuestos orgánicos que conforman la biomasa y la materia orgánica entre otras partes en el suelo, y constituyen una de las formas de mitigación del efecto invernadero (Martino, 2000).

En la búsqueda de formas para mitigar el calentamiento global, el tema de la captura de carbono y retención de carbono por la vegetación arbórea cobra importancia a nivel mundial, por ser una estrategia en que las aportaciones de la ciencia pueden contribuir a la disminución de los efectos causados por las emisiones de gases de efecto invernadero, entre ellos el CO<sub>2</sub> (García y Cámara, 2008).

Para conocer el potencial de mitigación de CO<sub>2</sub> en un determinado ecosistema es necesario realizar el inventario de los acervos de carbono así como analizar la dinámica de las diferentes especies o comunidades vegetales para simular el contenido de carbono en el suelo y en la biomasa (viva y muerta) (Rügnitz *et al.*, 2009).

Existe evidencia que demuestra que las fincas ganaderas pueden aportar al secuestro de carbono mediante la implementación de sistemas agroforestales (SAF); los bosques remanentes, áreas de vegetación secundaria en regeneración, pasturas arboladas y otros usos de la tierra complementarios a la producción ganadera pueden fungir como sumideros de carbono atmosférico (Post y Kwon 2000, Ruiz 2002, Fisher *et al.*, 2004). Los principales componentes de almacenamiento de carbono en el uso de la tierra son el carbono orgánico del suelo (COS) y en la biomasa arriba del suelo. Se ha estimado que el C en la biomasa de los bosques primarios y secundarios varía entre 60 y 230 y entre 25 y 190 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Brown *et al.*, 1997).

Los árboles dispersos en potreros son un sistema silvopastoril en el que las especies arbóreas multiestrato y multipropósito se encuentran dentro de los potreros en diferentes arreglos (por ejemplo de manera aislada o en grupo). En relación a su origen, los árboles a veces son remanentes de la selva original que se han conservado para sombra en el potrero o porque se pretende aprovechar su madera en el futuro.; en otros casos los agricultores plantan los árboles, como en el caso de numerosos frutales; también hay muchas especies nativas e introducidas que se regeneran naturalmente y mantienen poblaciones importantes en los potreros; algunos nacen de semillas traídas por el viento, pájaros, ganado y otros herbívoros, mientras que algunos rebrotan de tocones. Los productores deben ralea y manejar estas poblaciones en forma compatible con los cultivos y pastos que se producen en la finca (Beer *et al.*, 2003).

Los suelos representan una reserva de C cuantitativamente relevante a escala global. Su importancia en el marco del cambio climático ha sido puesta de manifiesto en diversas convenciones internacionales (por ejemplo en la Convención del Cambio Climático en 1992 y Convención de las Naciones Unidas en Kyoto en 1997) a partir de las cuales se han desarrollado protocolos de protección de los sumideros de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), incluido el suelo, y de promoción de prácticas de gestión adecuadas (Romanya *et al.*, 2001).

En los suelos tropicales, la degradación de los suelos inducida por el hombre afecta del 45 al 65 por ciento de las tierras agrícolas, dependiendo del continente. Esta situación hace que el margen de progreso para la captura de carbono en suelos tropicales degradados sea muy alto (FAO, 2002). En el trópico húmedo, el estudio de los suelos lleva algunos años de retraso, sobre

todo debido a que la gran mayoría de los ambientes tropicales se ubican en países en vías de desarrollo con problemas económicos (Palma-López, 1997).

El Carbono en el suelo disminuye después de la deforestación, aunque eso depende del tipo de suelo, (Thiessen *et al.*, 2003) El uso del suelo influye sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas, el estado de su fertilidad y la disminución de su capacidad de almacenamiento de CS (Palma *et al.*, 2007).

La acumulación de carbono del suelo (CS) es un proceso importante para mitigar el efecto del cambio climático, ya que la superficie terrestre, además de ser un sumidero, es un reservorio de carbono estabilizado (Etchevers *et al.*, 2006). Sin embargo, cuando hay cambio de uso, este mismo sumidero puede transformarse en una fuente. En México, los aspectos del ciclo del carbono más estudiados están asociados principalmente a la biomasa aérea, pero poco se conoce sobre la dinámica de acumulación del CS (Luis-Mejía *et al.*, 2007).

A pesar del reconocimiento del potencial que poseen tanto los bosques como los SAF para almacenar C, aún falta información del potencial de secuestro de C en suelo y en la biomasa arbórea en paisajes ganaderos en México, por ello, el objetivo de este estudio es estimar el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo y en la biomasa arbórea aérea y subterránea (en la hojarasca y en los pastos) en un sistema ganadero con árboles dispersos en el potrero (ADP), y otro bajo el monocultivo de pasto (MDP) en la región Sierra de Tacotalpa, Tabasco.

Esta tesis consta de dos capítulos, el capítulo uno está conformado por la primera parte que es el protocolo de tesis y el segundo capítulo es el artículo

científico enviado a la Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.

## ANTECEDENTES

Una forma de mitigar los efectos con que el CO<sub>2</sub> atmosférico participa en el cambio climático es a través de la captura de carbono, mediante la fotosíntesis, y mantenerlo el mayor tiempo posible secuestrado, ya sea en el suelo o en forma de biomasa, la cual incluye todo tipo de vegetación y organismos animales. Mediante la fotosíntesis, la vegetación asimila CO<sub>2</sub> atmosférico, forma carbohidratos y aumenta su volumen. Por su parte, los bosques del mundo capturan y conservan una alta cantidad de carbono y participan con 90% de flujo anual de carbono de la atmósfera y de la superficie terrestre (De Jong *et al.*, 2004; Montoya *et al.*, 1995).

Los sistemas agroforestales (SAF), de acuerdo con (Nair, 1993), se definen como aquellos sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes se usan y manejan junto con cultivos agrícolas y animales, donde se producen interacciones ecológicas y económicas entre los componentes que son resultado de los arreglos espaciales y temporales. Los sistemas agroforestales también son importantes reservorios de carbono en el tiempo, mismos que dependen de la productividad, la finalidad para la cual se hayan diseñado y las condiciones ambientales bajo las que se desarrollan, además de ser una fuente de alimento para los dueños y proporcionar alimento para los animales. La acumulación de carbono (C) es más evidente en la biomasa de árboles y arbustos; las cantidades de almacenamiento de C en la biomasa dependen de

la proporción de árboles presentes y del tamaño del árbol (Montagnini y Nair, 2004).

El incremento de bosques mediante forestación o reforestación es una opción para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Ordóñez *et al.*, 2001) y contrarrestar el cambio climático (IPCC, 2007).

Las plantaciones forestales son una de las estrategias para incrementar las tasas de captura de carbono rápida y eficientemente, con poco más de 190 millones de ha en el mundo (5 % del área forestal total) (FAO, 2010). La evaluación de biomasa mediante modelos matemáticos permite calcular los montos y fijación de carbono, y valorar el impacto en la mitigación de gases efecto invernadero (GEI); además, ayuda a tomar decisiones óptimas en la política ambiental y gestión silvícola.

Los sistemas agroforestales (SAF) y los bosques, naturales o plantados, representan sumideros importantes de carbono (Ávila *et al.*, 2001); éstos tienen la capacidad de fijar en forma continua carbono. Ciertamente a través de la descomposición de la materia viva se vuelve a emitir CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Sin embargo los árboles por su gran tamaño acumulan gran cantidad de carbono y si la madera de estos es utilizada para la construcción de muebles y casas, ese carbono fijado queda en las estructuras por largo plazo (Alfaro-Murillo, 1997).

El potencial de almacenamiento de C en biomasa viva en SAF de zonas tropicales es de  $2.1 \times 10^9$  Mg C-año<sup>-1</sup>, mientras que en zonas templadas es de  $1.9 \times 10^9$  Mg C-año<sup>-1</sup> (Oelbermann *et al.*, 2004).

Los árboles dispersos en los potreros (ADP) son el segundo sistema silvopastoril (SSP) más abundante y común en la Sierra de Tabasco (Grande *et al.*, 2009). Estos árboles son retenidos en los potreros por los productores ya que cumplen diversas funciones para el productor y el ambiente, como sombra, leña, madera y forrajes. Además, favorecen hábitat de ciertas especies y mejoran las conectividades entre paisajes arbolados (Esquivel-Mimenza *et al.*, 2011; Harvey *et al.*, 2011). Asimismo es altamente probable que promuevan la captura de carbono, y la conservación del agua y aire (Shibu, 2009; Nair, 2011; Casanova *et al.*, 2011).

Los principales sumideros de carbono en los ecosistemas forestales son el suelo, la vegetación y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis, por otro lado el suelo tiene una gran capacidad de secuestrar carbono, ya que pueden acumularlo por miles de años (Ordoñez y Maser, 2001).

Se menciona que para el caso de los ecosistemas terrestres mexicanos, la mayor proporción de carbono almacenado se encuentra respectivamente en la vegetación aérea, los suelos y las raíces o vegetación del subsuelo (Vega-López, 2008).

## **Método para cuantificar o estimar el almacenamiento de carbono**

### ***Método para estimar biomasa en la vegetación***

#### ***Método directo***

Dentro de los trabajos destructivos en varios tipos de vegetación se puede mencionar a Brown (1997) quien estudió la biomasa en árboles de América, Asia y África, realizando ecuaciones según el tipo de ambiente y región con las

variables de mejor ajuste para diámetro y altura, siendo el rango de diámetro a la altura del pecho (DAP) muy estricto para los árboles y la utilización de la fórmula; otro estudio destructivo en varios tipos de vegetación es de (Chave *et al.*, 2005), realizaron para la zona neotropical con datos de campo de varios trabajos, los modelos de ecuaciones alométricas, para poder utilizar estas ecuaciones determinaron que se necesitan los datos de campo de DAP, altura y la densidad de madera de los árboles.

El componente raíces es uno de los menos estudiados en selvas, sin embargo (Cairns *et al.*, 1997) se cortaron árboles, de los cuales desenterraron las raíces y cuantificaron la biomasa de raíces con respecto al árbol, determinando que la biomasa de raíces (gruesas y finas) está relacionada con la biomasa de los árboles, siendo la biomasa de raíz entre 15-26%. Estos mismos autores señalan que se requiere datos de la biomasa de árboles adultos, juveniles y herbáceas para cuantificar la biomasa de raíces.

### JUSTIFICACIÓN

El CO<sub>2</sub> es el gas que más contribuye al calentamiento global, gran parte proviene del cambio de uso de la tierra, la deforestación en zonas tropicales, para el establecimiento de pasturas para la ganadería, el uso de combustibles fósiles y la producción de cemento en países desarrollados (Brown y Lugo 1992, Dixon 1995). Una forma de mitigar sus efectos es almacenarlo en la biomasa arbórea y herbácea, mediante la fotosíntesis.

Los sistemas silvopastoriles, al incluir el componente arbóreo, pueden remover cantidades significativas de carbono de la atmósfera al incorporarlo a su biomasa, además de otros beneficios productivos y ambientales. Estos sistemas se pueden constituir como importantes sumideros de carbono en altas proporciones debido a que se concentra carbono en los diferentes componentes tanto de la especie arbórea como la pastura asociada a estos, así como en el suelo.

Desde esta perspectiva, la relevancia de estudiar los sistemas ganaderos con árboles dispersos en potreros en la subregión Sierra de Tabasco, se debe a que en dichos sistemas existe gran diversidad de árboles y arbustos como el Bojón (*Cordia alliodora*), Cedro (*Cedrella odorata*), Cocoíte, (*Gliricidia sepium*), Aguacate (*Persea americana*), Ceiba (*Ceiba petandra*), Naranja (*Citrus sinensis*), Mango (*Mangifera indica*), Palo mulato (*Bursera simaruba*), Limoncillo (*Garcinia intermedia*), Amargoso (*Vatairea lundelli*), entre otras especies con potencial para almacenar cantidades significativas de carbono. Desafortunadamente aún no se conoce mucho sobre el potencial de dichos sistemas para almacenar carbono, por lo que es necesario estudiarlos para determinar la contribución de éstos al almacenamiento de carbono.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial de almacenamiento de carbono en la biomasa total (aérea y subterránea) y en el suelo, en potreros con árboles dispersos, teniendo como línea base de referencia al sistema ganadero convencional basado en el monocultivo de pasto, en la Sierra de Tacotalpa, Tabasco.

### Objetivos específicos

Estimar el almacenamiento de carbono en la biomasa arbórea (aérea y subterránea), en la pastura y en la hojarasca en potreros con árboles dispersos así como en un sistema ganadero convencional basado en el monocultivo de pasto en la Sierra de Tacotalpa, Tabasco.

Determinar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en potreros con árboles dispersos, así como en un sistema ganadero convencional basado en el monocultivo de pasto en la Sierra de Tacotalpa, Tabasco.

## HIPÓTESIS

Los sistemas ganaderos con árboles dispersos en los potreros almacenan mayor cantidad de C en su biomasa y en el suelo respecto al sistema ganadero basado en el monocultivo de pasto, debido a la mayor diversidad de especies arbóreas, contribuyendo a reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y a mitigar el calentamiento global.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la región de estudio

#### Clima

El área de estudio se localiza en el municipio de Tacotalpa, Tabasco. El sitio presenta un clima cálido-húmedo con lluvias todo el año de tipo Af (m) W” (i)g con temperatura media anual de 26 °C, con régimen de precipitación de 4 014 mm. Coordenadas entre los paralelos 17°20’ y 17°42’ de latitud norte; los meridianos 92°32’ y 92°55’ de longitud oeste; altitud entre 0 y 1 000 m. Colinda al norte con los municipios de Jalapa y Macuspana; al este con el municipio de Macuspana y el estado de Chiapas; al sur con el estado de Chiapas; al oeste con el estado de Chiapas y el municipio de Teapa.

El estudio de la presente tesis se realiza en ranchos ganaderos localizados en el municipio de Tacotalpa, Tabasco, de septiembre de 2012 a febrero de 2013 (Figura 1).

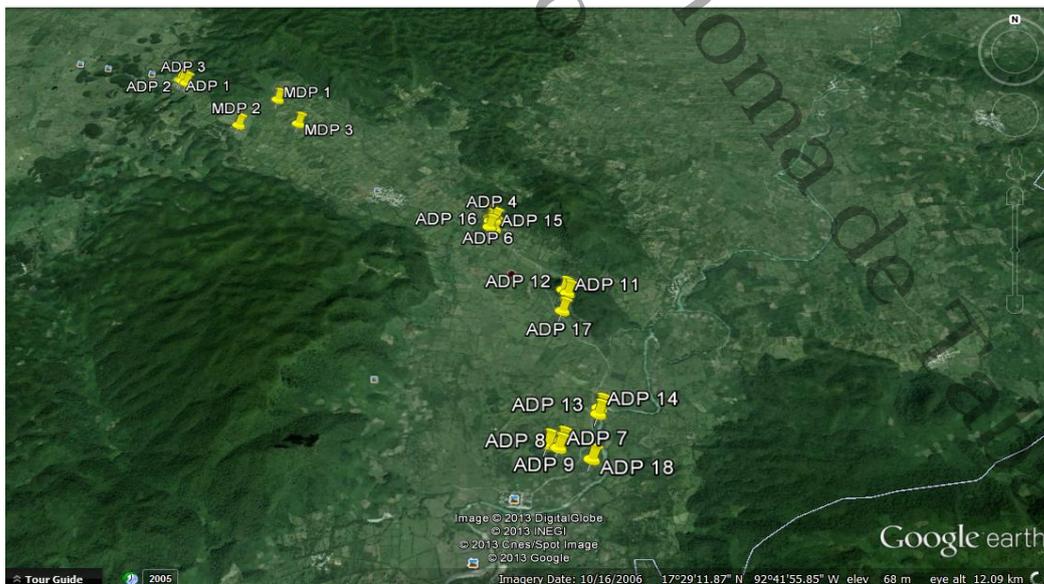


Figura 1. Localización del área de estudio (Imagen tomada del Google Earth, 2012).

## **Selección de los sistemas de estudio**

Para la selección de los sitios se hicieron recorridos de campo para ubicar los sistemas ganaderos con ADP y bajo el MDP, con la finalidad de conocer las principales características de ambos sistemas, y posterior a solicitar los permisos con los dueños de los ranchos y del mismo modo hacer recorridos con el dueño para saber sus límites del terreno.

Se seleccionaron dos ranchos con ADP y tres bajo el MDP. Todos los ranchos fueron georreferenciados con el sistema posicionamiento geográfico (GPS), para así ubicar los sitios de estudio.

### ***Características de los sistemas de estudio***

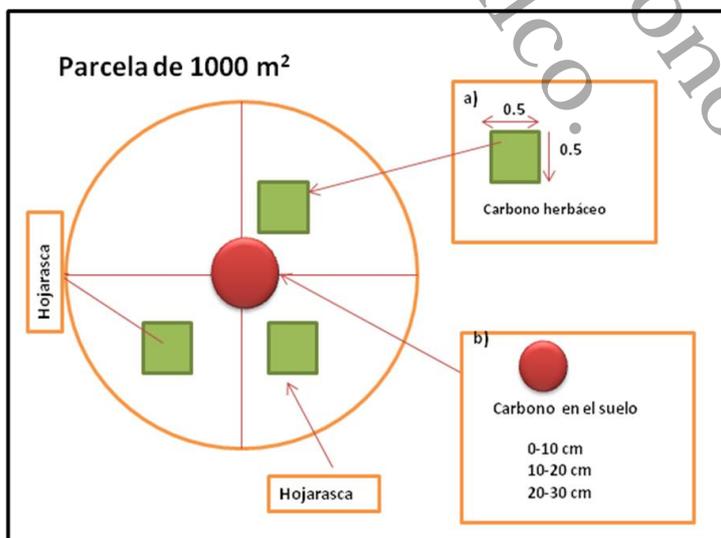
#### ***Árboles dispersos en potreros (ADP)***

Se consideran árboles dispersos en potreros aquellos sistemas con la presencia de árbol-pasto-animal, en los cuales se encontraron especies arbóreas como bojón (*Cordia alliodora*), cedro (*Cedrela odorata*), ceiba (*Ceiba petandra*), naranja (*Citrus sinensis*) y aguacate (*Persea americana*) entre otros asociados al pasto victoria (*Brachiaria decumbes*).

### **Diseño de muestreo y parcelas de estudio**

Se utilizará un diseño experimental completamente al azar donde se analizará el efecto del sistema, la producción de biomasa aérea y subterránea, la profundidad de muestreo (suelo). En los ADP la forma de la parcela es circular de 1000 m<sup>2</sup> con un radio de 17.80 m. Cada parcela se dividió en cuatro

cuadrantes de acuerdo como giran las manecillas del reloj para facilitar el trabajo y realizar un muestreo ordenado, en cada uno de estos se seleccionaran al azar dos cuadrantes para el muestreo de hojarasca y uno para herbáceas. Para las muestras de suelo, se usarán tres profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, estas se realizarán en el centro de la parcela (Figura 2). De esta forma se realizarán las evaluaciones de biomasa arbórea aérea y subterránea, herbácea y características del suelo como densidad aparente, textura, pH, materia orgánica. En cada parcela se midieron los diámetros de los árboles a la altura del pecho (DAP) y la altura total (h). De los ADP, se contarán con dos ranchos o sitios con tres parcelas de 1000 m<sup>2</sup> cada uno. Además se agregaron cuatro ranchos o sitios de muestreos más de ADP (6x3, 18 parcelas) para contar con mas muestras para la biomasa arbórea tanto aérea como subterránea (DAP y altura total de árboles).



**Figura 1. Diagrama de la parcela circular de 1000 m<sup>2</sup> para la cuantificación del carbono en los diferentes reservorios en potreros con árboles dispersos.**

### Sistema ganadero convencional

Se seleccionaron tres ranchos bajo el MDP con tres replicas cada uno. En este sistema las parcelas fueron rectangulares de 30 x 10 (300 m<sup>2</sup>). Se asignaron de manera aleatoria tres subparcelas de 1x1 (1m<sup>2</sup>) cada una dentro de las parcelas de 300 m<sup>2</sup>, en estas subparcelas de 1 m<sup>2</sup> se seleccionó 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 x 0.5 m), (Fig. 3) para obtener la biomasa herbácea realizando el corte de pasto cada 30 días, el cual se realizó en un periodo de 6 meses.

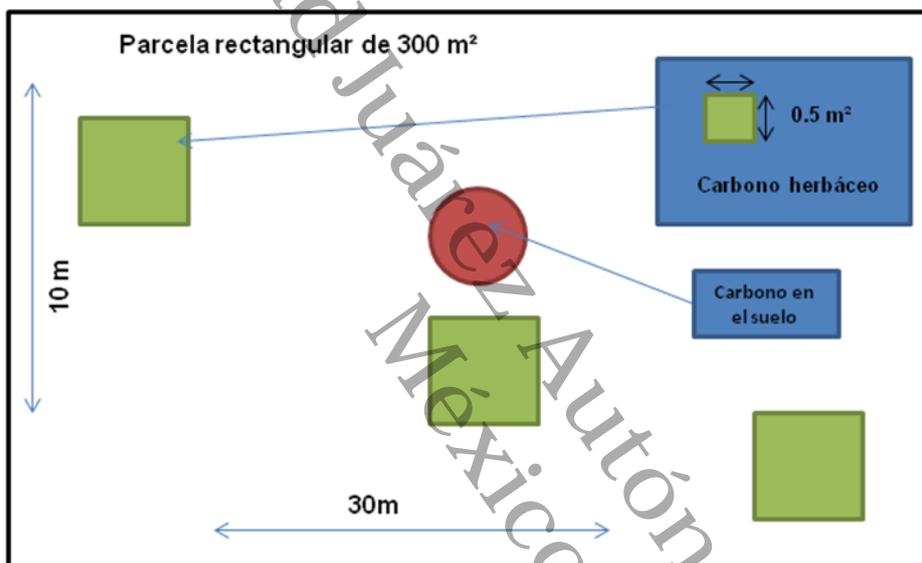


Figura 2. Diagrama de la parcela rectangular de 300 m<sup>2</sup> para la cuantificación del carbono herbáceo en potreros bajo monocultivo de pasto. Dentro de las parcelas se realizaron tres subparcelas de 1 x 1 (1m<sup>2</sup>).

### Métodos de muestreo

#### A) Producción de biomasa arbórea (aérea y subterránea).

A todos los árboles y arbustos presentes en cada parcela, se les midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) 1.30 m con una cinta diamétrica, y la

altura total ( $ht$ ), con una pistola de medición de alturas (Laser technology) marca Criterion RD 1000.

### **B) Producción de biomasa herbácea**

Para la estimación de biomasa herbácea (pastos) en los ADP, se instalará un corral o subparcela de  $1 \text{ m}^2$  en cada parcela circular de  $1000 \text{ m}^2$  con tres repeticiones por sitio, en total seis. En cada subparcela de  $1 \text{ m}^2$  se seleccionó  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$  ( $0.25 \text{ m}^2$ ), a esta área cercada al inicio del experimento se le cortará el pasto. Para los MDP, en cada uno de los tres sitios con tres parcela de  $300 \text{ m}^2$  cada uno, se ubicaron al azar 3 subparcelas de  $1 \text{ m}^2$  con una selección interna de  $0.25 \text{ m}^2$ , haciendo un total de 27 subparcelas para muestreo de biomasa de herbáceas.

La cosecha de herbáceas (pasto) se realiza de la siguiente manera, se cortará el pasto a una altura de 15 cm del suelo, para homogeneizar su crecimiento, los muestreos se harán cada 30 días durante seis meses. El material herbáceo se corta y se pesa en fresco (PF) en una báscula electrónica portátil granataria y se almacena en bolsas de papel estraza, que contiene los datos del productor, parcela, localidad, municipio, fecha y tipo de herbácea. Estas muestras son llevadas al laboratorio del Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa (ECOSUR) para ser secadas en una estufa a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , hasta obtener su peso constante, durante un periodo de 48-72 horas.

### **C) Producción de hojarasca**

En el caso de la hojarasca para la cuantificación se colocarán al azar en las seis parcelas de  $1000 \text{ m}^2$  para ADP, dos trampas de estructura metálica de 1

m<sup>2</sup>, total de trampas de hojarasca 12. El método consiste en coleccionar todo el material vegetal encontrado dentro de las trampas, evitando trozos de ramas grandes, podridas, piedras, material en descomposición o cualquier otro elemento que no fuera la muestra deseada, se registra el peso fresco (PF) en formato de campo. Los muestreos se realizarán cada 15 días en un periodo de tiempo comprendido de agosto 2012 a febrero 2013. Las muestras se depositan en bolsas de papel estraza con los datos del sitio. Después se secan en una estufa a 65 °C hasta obtener un peso constante en el laboratorio durante un periodo de 48-72 horas.

### **Estimación de Carbono en árboles (sobre y debajo del suelo)**

Para el cálculo de carbono total en la biomasa arbórea y juveniles se asumió por convención, el valor de 0.5 del total de la biomasa (IPCC, 2001). La biomasa arbórea y de juveniles se calculan empleando la ecuación alométrica desarrollada por (Chave et al. 2005) para tipo de vegetación de selva tropical lluviosa, de acuerdo a las características de la vegetación de los sitios muestreados.

$$Y = \exp[-2.977 + \ln(\rho D^2 h)]$$

En donde:

Y: Biomasa en kg (árbol)-1

$\rho$ : Densidad de la madera por especie.

D: Diámetro normal en cm a 1.3 metros

h: Altura total en m.

ln: Logaritmo natural

exp: e elevada a la potencia dada

## Estimación de Carbono en raíces.

Las raíces de las plantas fijan una gran cantidad de carbono, para contabilizarlo se utiliza una ecuación alométrica. Las ecuaciones de este tipo utilizan datos conocidos para calcular una cantidad de interés que resulta difícil de medir directamente. Se supone que mientras más árboles y juveniles hay, mayor cantidad de raíces habrá. Se estimó la cantidad de biomasa de raíces mediante la ecuación alométrica desarrollada por (Cairns *et al.*, 1997).

$$Y = \exp[-1.0583 + 0.8836 \ln(ABD)]$$

Y: Biomasa de raíces gruesas en Mg ha<sup>-1</sup> de materia seca. ABD: Biomasa arbórea y arbustiva en Mg ha<sup>-1</sup> de materia seca.

ln: Logaritmo natural.

exp: e elevada a la potencia dada.

## Muestreo y determinación de carbono orgánico en el suelo y densidad aparente en las MDP de los sistemas a estudiar

### Densidad aparente (DA)

Para determinar la DA se utilizará el método del cilindro de volumen conocido (Márquez, 2000). Éste consiste en introducir un cilindro metálico al suelo, y extraer la muestra de volumen conocido. Cada muestra será tomada en el centro del rango de profundidad de cada perfil (0-10, 10-20, y 20-30 cm). Las muestras se pesarán en campo con la ayuda de una balanza granataria y luego se colocarán en bolsas de polietileno debidamente rotuladas con los datos respectivamente necesarios y serán llevadas al laboratorio, para secar en un

horno (a 100 °C por 72 horas) para determinar su peso constante.

Posteriormente, se calculará la DA mediante la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{(P2 - P1)}{Vol. Cilindro}$$

En donde:

DA: densidad aparente (g cm<sup>-3</sup>);

P1: peso del cilindro (g);

P2: peso del cilindro más el peso seco del suelo (g);

Vol.: volumen del cilindro = área en la base x longitud (cm<sup>3</sup>).

### Estimación de Carbono orgánico en suelo

Las muestras de suelo se obtuvieron a tres profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, en cada una de las parcelas de muestreo. Las muestras de suelo extraídas en campo fueron llevadas a un invernadero de ECOSUR, en el cual se colocaron en charolas y fueron secadas durante siete días a temperatura ambiente, las muestras después de haberse secado se procedieron a moler mediante el método manual, el cual consistió en moler el suelo con el apoyo de un tubo de aluminio, después se tamizó en una malla número 40, posteriormente se homogeneizó la muestra de suelos, para después tomar una pequeña muestra que se colocó en un mortero para terminar de desagregarla, posteriormente se tamizó en una malla número 500 μ, la cual se colocó en un frasco pequeño con sus respectivos datos y el número de muestra correspondiente con el que entrará al laboratorio de suelos para su posterior análisis de materia orgánica por el método de combustión húmeda descrita por

(Walkley & Black 1934). Se aplicará 1.724 como factor de convención de C materia orgánica a C (Fassbender, 1993).

## REFERENCIA

Alfaro M. M. (1997). Almacenamiento y fijación de carbono en ecosistemas forestales. *Revista Forestal Centroamericana* 19(6): 9-12p.

Avila G., F. Jimenez, J. Beer, M. Gomez y M. Ibrahim. (2001). Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforesteria en la Americas*, Vol. 8(30): 32-35p.

Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest. FAO forestry. Paper-134. Roma, Italia. 89 pp.

Cairns M. A., S. Brown, E. H. Helmer & E. H. Baumgardner. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia*. 111:1-11.

Casanova, L. F., J. P. Aldana, and S. J. Solorio. (2011). Agroforestry systems as an alternative for carbon sequestration in the Mexican tropics. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 5-118.

Chave J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. and Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145: 87–99.

De Jong, B., Maser, O. & Hernández-Tejeda T. (2004). Opciones de captura de carbono en el sector forestal. *En: Cambio Climático: Una visión desde México.* (pp 369-380) México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE).

Esquivel-Mimenza, H., M. Ibrahim, and C. A. Harvey. (2011). Dispersed trees in pasturelands of cattle farms in a tropical dry ecosystem. *Trop. Subtrop. Agroecosystem* 14: 933-941.

Etchevers, J. D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, and M. Martínez. (2006). Influence land use on carbon sequestration and erosion in Mexico: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 26: 21-28.

FAO 2010. Combatir el cambio climático con los pastizales. <http://www.fao.org/news/story/item/38916/icode/>

FAO. (2002). Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación. Roma. 83p.

García D. A. y L. C. Cámara. (2008). Captura de carbono como alternativa para la conservación del ANP cascadas de Reforma, Balancán, Tabasco, México. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 10p.

Grande, D., H. Losada, J. Cortés, J. Rivera, M. Maldonado, F. Pérez-Gil, y S. Zubirán. (2009). Los árboles dispersos en Potreros de la región Sierra de Tabasco, México. *Rev. Bras. Agroecol.* 4(2): 4489-4492.

Harvey, C. A., C. Villanueva, and H. Esquivel. (2011). Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *For. Ecol. Manage.* 261: 1664-1674.

Luis-Mejía, S., A. Gómez-Guerrero, J. D. Etchevers-Barra, G. Ángeles-Pérez, M. A. López-López y W. R. Horwath. (2007). Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de *Pinus michiocana*. *Agrociencia* 41: 711-721.

Martino, D. L. (2000). Los Sumideros de Carbono en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto. Taller sobre Protocolo de Kioto, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. 9p.

Masera, O. R., B. Jong y I. Ricalde. (2000). Consolidación de la oficina Mexicana para la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero. Instituto de Ecología, UNAM. ECOSUR. México. 197p.

McVay, K. A. y C. W. Rice. (2002). El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono. Departamento de agronomía. Universidad del Estado de Kansas. Kansas, Estados Unidos. 4p.

Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61, 281 – 295.

Montoya, G. L., Soto P., Jong, B. Nelson, K. Farías, P., Taylor, J. & Tipper, R. (1995). *Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas*. México, D. F. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4.

Nair, P. K. R. (1993). An introduction to agroforestry. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.

Nair, P. K. R. (2011). Carbon sequestration studies in agroforestry systems: a reality-check. Agroforestry. System. DOI 10.1007/ s10457-011-9434-z.

Odum, E. P. y G. W. Warrett. (2006). Fundamentos de Ecología. Thomson. Australia. 598p.

Oelbermann, M., Voroney, P. R., & Gordon, M. A. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 359 - 377.

Ordóñez, J. A. B. y O. Maserá. (2001). Captura de Carbono ante el Cambio Climático. *Maderas y Bosques* Vol. 7(1), 3-12p.

Palma-López, D. J. (1997). Cartografía y clasificación de suelos en tabasco en Los Suelos de Tabasco, restauración, conservación y uso. SEMARNAP. Villahermosa, Tabasco, México. 231P.

Palma-López, D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C., y J. A. Rincón- Ramírez. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.

Romanya, J., P. Rovira, V. R. Vallejo y M. J. Sanz. (2001). La materia orgánica en el suelo. Barcelona, España. 11p.

Ruiz A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis de Maestría, CATIE. Costa Rica. 106 p.

Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agrofor. System* 76: 1-10.

Thiessen, H., R. S. C. Menezes, I. H. Salcedo, and B. Wick. (2003). Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil. *Plant Soil* 252: 195-205.

Vega-López E. (2008). Importancia económica de las áreas naturales protegidas como sumideros de carbono en México en “Valor económico potencial de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México como sumideros de carbono”. México. The Nature Conservancy 114-120p.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## Capítulo II Artículo

Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente

### ESTIMACIONES DE CARBONO EN POTREROS CON ARBOLES DISPERSOS EN LA SIERRA DE TACOTALPA, TABASCO

### BIOMASA EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN TABASCO

Fabiola Gpe Valenzuela-Que<sup>1</sup>, Luisa del C. Cámara-Cabrales<sup>1</sup>, Gilberto Villanueva-López<sup>2</sup>, Pablo Martínez-Zurimendi<sup>2</sup>, Deb Raj-Aryal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas Km 0.5 S/N Carretera Villahermosa-Cárdenas, entronque a bosque de Saloya, Villahermosa, Tabasco, CP 86150.

<sup>2</sup>El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa, Carretera a Reforma Km. 15.5 S/N. Guineo Segunda Sección, Villahermosa, Tabasco. C.P. 86280.

Autor para correspondencia, Luisa del C. Cámara-Cabrales, Correo es: [lcamara27@hotmail.com](mailto:lcamara27@hotmail.com), Teléfono. (993) 3544308 extensión. 6407.

## ESTIMACIONES DE CARBONO EN POTREROS CON ARBOLES DISPERSOS EN LA SIERRA DE TACOTALPA, TABASCO

### RESUMEN

Se estimaron los contenidos de carbono de los árboles dispersos en potreros (ADP) y en monocultivo de pastos (MDP). El objetivo fue estimar el carbono en la biomasa arbórea (aérea y subterránea), biomasa herbácea y hojarasca en ranchos ganaderos en Tacotalpa, Tabasco; a la vez determinar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo en ambos sistemas silvopastoriles. En los ADP la mayor cantidad de carbono se encontró en la biomasa aérea  $76.6 \pm 11.90 \text{ Mg ha}^{-1}$ , biomasa de raíces  $12.68 \pm 1.83 \text{ Mg ha}^{-1}$  y biomasa de hojarasca  $33.12 \pm 1.69 \text{ Mg ha}^{-1}$ . En la biomasa de pastos se encontró a los seis meses que hay diferencia significativa  $p < .0001$  entre los dos sistemas ADP y MDP, siendo los ADP los que presentaron menos con  $14.34 \pm .09 \text{ Mg ha}^{-1}$  y MDP  $31.36 \pm 1.57 \text{ Mg ha}^{-1}$ . En el carbono orgánico del suelo hay diferencias significativas  $p < .0001$  entre los dos sistemas, el ADP con  $85.81 \pm 3.76 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y MDP con un  $33.49 \pm 3.07 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , pero no hay diferencia entre el carbono almacenado en las profundidades del suelo de 0-10, 10-20 y 20-30 cm en cada uno de los sistemas.

#### Palabra clave:

Carbono almacenado en sistemas ganaderos, árboles dispersos en potreros, Monocultivo de pasto.

## ABSTRACT

Carbon storage was estimated in trees dispersed in pastureland (ADP Spanish acronym) and in monoculture of pastureland (MDP Spanish acronym). The objective was estimated carbon in arboreal biomass (aerial and subterranean), herbaceous and litter fall biomass in cattle ranches in Tacotalpa, Tabasco; at the same time organic carbon in the soil was determined in both silvopastoral systems. In the ADP the most carbon was found in the aerial biomass  $76.6 \pm 11.90 \text{ Mg ha}^{-1}$ , followed by root biomass  $12.68 \pm 1.83 \text{ Mg ha}^{-1}$  and litterfall biomass  $33.12 \pm 1.69 \text{ Mg ha}^{-1}$ . In the herbaceous (pasture) biomass at the six months was reported significant differences at  $p < .0001$  between ADP and MDP, being the ADP with less  $14.34 \pm .09 \text{ Mg ha}^{-1}$  and MDP with  $31.36 \pm 1.57 \text{ Mg ha}^{-1}$ . In the soil organic carbon there was statistical differences  $p < .0001$  between the systems, the ADP with  $85.81 \pm 3.76 \text{ Mg C ha}^{-1}$  and MDP with  $33.49 \pm 3.07 \text{ ha}^{-1}$ , but there weren't differences in the storage of soil organic carbon at the three soil depths of 0-10, 10-20 and 20-30 centimeters in each one of the systems.

### Key words

Carbon storage in cattle ranches, tree dispersed in pastureland, pasture monoculture.

## Highlights

Carbon sink in cattle ranches

Comparison of carbon in silvopastoral systems and monoculture of pasture

Carbon storage in soil

## INTRODUCCIÓN

La concentración de gases de efecto de invernadero (GEI), como son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano y óxidos nitrosos en la atmósfera, ha aumentado considerablemente, lo cual fortalece el efecto invernadero del planeta. El  $\text{CO}_2$ , principal gas de efecto invernadero, incrementó su concentración de 280 ppm en el año 1750 a 360 ppm en el año 2000, periodo en que el uso de combustibles fósiles generó del 80 al 85% del  $\text{CO}_2$  emitido (Ortiz *et al.*, 2008); y se estima que esta concentración de dióxido de carbono aumentará de dos a tres ppm por año a nivel mundial.

El  $\text{CO}_2$  es incorporado en los sistemas terrestres, principalmente por la fotosíntesis de las plantas. El Fondo Nacional del Ambiente (FONAM, 2006) menciona que los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un potencial de secuestro de carbono importante; además, se considera que las actividades forestales deben tomarse en cuenta para el control, la reducción y/o la prevención de emisiones antropogénicas (Salgado, 2004). En este sentido, un aumento en la captura de GEI por las pasturas, puede tener un gran impacto en la disminución de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (Fisher *et al.*, 1994).

Los GEI podrían reducirse a través de dos procesos: disminuyendo las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> o mediante la creación y/o mejoramiento del secuestro de carbono en la biosfera. En este sentido, los sistemas agroforestales son una importante estrategia para la mitigación del calentamiento global: mediante la conservación, el secuestro, el almacenamiento y la sustitución de carbono (Vine *et al.*, 1999; IPCC, 2000; Ibrahim *et al.*, 2007). Así, la implementación de sistemas agroforestales utilizando la inserción de árboles en potreros, el establecimiento de cercas vivas y el de pasturas mejoradas, así como incentivar la regeneración natural de la vegetación y la conservación de los bosques, son una posibilidad viable para los productores (Beer *et al.*, 2003).

Ante este escenario, los sistemas agrosilvopastoriles representan una importante alternativa, al obtener alta producción de biomasa y maximizar el fenómeno de la fotosíntesis; y, por lo tanto, la capacidad de almacenar el carbono del aire en medios estables. El secuestro de carbono, la restauración del suelo y la conservación de la biodiversidad, son algunos importantes servicios ambientales que se han considerado en diversos programas en América Latina (Alonso, 2011).

La función de los árboles en la captura de gas carbónico se evalúa debido a su potencial para modular el cambio climático y reducir el efecto invernadero (Brown, 2001; Ordóñez *et al.*, 2001).

El almacenamiento de carbono en las masas arbóreas en parte está acompañado con el aumento de biodiversidad ocasionado por la competencia de las especies y la variedad de formas de los árboles. Éstos crecen,

incrementan el diámetro y altura, y por tanto la biomasa progresivamente; la biomasa y la diversidad aumentan en función del tiempo y las características del sitio (Martínez- Sánchez y Cámara, 2012). En este estudio el objetivo fue evaluar el potencial de almacenamiento de carbono en la biomasa total (aérea y subterránea), hojarasca, herbáceas y en el suelo, en potreros con árboles dispersos y en monocultivo de pasto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio de Tacotalpa, Tabasco (Figura 1). El sitio presenta un clima cálido-húmedo con lluvias todo el año de tipo Af (m) W" (i)g con temperatura media anual de 26 °C, con régimen de precipitación de 4 014 mm. Coordenadas entre los paralelos 17°20' y 17°42' de latitud norte; los meridianos 92°32' y 92°55' de longitud oeste; altitud entre 0 y 1 000 m. Colinda al norte con los municipios de Jalapa y Macuspana; al este con el municipio de Macuspana y el estado de Chiapas; al sur con el estado de Chiapas; al oeste con el estado de Chiapas y el municipio de Teapa (INEGI, 2008).

### **Características de los Sistemas. Árboles dispersos en potreros (ADP) y Monocultivo de pastos (MDP)**

Se consideran árboles dispersos en potreros aquellos sistemas con la presencia de árbol-pasto-animal, en los cuales se encontraron especies arbóreas como Bojón (*Cordia alliodora*), Cedro (*Cedrela odorata*), Ceiba (*Ceiba petandra*), Naranja (*Citrus sinensis*), Aguacate (*Persea americana*), Mango

(*Mangifera indica*), Palo mulato (*Bursera simaruba*), Amargoso (*Vatairea lundelli*), Limoncillo (*Garcinia intermedia*), Chipilcoi (*Diphysa robinoides*). Los ADP se caracterizan por la presencia de árboles, estos a su vez están asociados al pasto victoria (*Brachiaria decumbens*). El MDP se caracteriza por la ausencia de árboles, está más expuesto a la luz solar que el ADP y se maneja como un sistema de pastoreo intensivo rotacional, la gramínea predominante es el pasto victoria (*Brachiaria decumbens*).

### Parcelas de estudio

Se analizaron el efecto del sistema, la producción de biomasa arbórea aérea y subterránea, biomasa de hojarasca y de herbáceas y la profundidad de muestreo (suelo), y la interacción de ambos factores sobre el almacenamiento de carbono. En los ADP se muestrearon dos sitios con tres réplicas cada uno, un total de seis parcelas, en las cuales se realizaron las siguientes mediciones: diámetro a la altura del pecho (1.30 m, DAP), y altura total del árbol (h) de todos y cada uno de los árboles presentes en la parcela, hojarasca, pastos (herbáceas) y carbono en el suelo. Esto se realizó en parcelas de 1000 m<sup>2</sup> circulares con un radio de 17.80 m. Cada parcela se dividió en cuatro cuadrantes para facilitar los muestreos. En cada parcela se colocaron al azar dentro de los cuadrantes dos trampas metálicas de hojarasca de 1 m<sup>2</sup> de superficie, haciendo un total de 12 trampas. También se establecieron subparcelas de 1 m<sup>2</sup>, (una en cada parcela) en las cuales se seleccionó el cuadrado central de 0.5 m de lado (0.25 m<sup>2</sup> de superficie) para obtener la biomasa de herbáceas (cosecha de pastos), con un total de seis subparcelas de muestreo de herbáceas (Figura 2). Para las muestras de suelo, se usaron

tres profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, en el centro de la parcela (Figura 2). De esta forma se realizaron las evaluaciones de biomasa arbórea aérea y subterránea, herbácea y características del suelo como densidad aparente, textura, pH y materia orgánica. Además se agregaron cuatro ranchos o sitios de muestreos más de ADP (6x3, 18 parcelas) para contar con más muestras para la biomasa arbórea tanto aérea como subterránea (DAP y altura total de árboles).

### **Sistema monocultivo de pastos (MDP)**

En relación al sistema ganadero bajo el MDP, se seleccionaron tres ranchos con tres replicas al azar cada uno. En este sistema las parcelas fueron rectangulares de 30 x 10 (300 m<sup>2</sup>), en donde se establecieron tres subparcelas de 1m<sup>2</sup> de manera aleatoria (27 subparcelas de herbáceas), en éstas se seleccionó el cuadrado central de 0.25 m<sup>2</sup> (0.5 x 0.5 m) para obtener la biomasa herbácea realizando corte de pasto cada 30 días a 15 cm de altura del suelo, las mediciones se realizaron durante seis meses de Septiembre 2012 a Febrero 2013. También, al igual que en los ADP, en el centro de la parcela se muestreó el suelo a tres profundidades para la obtención de carbono en el suelo.

### **Producción de biomasa arbórea (aérea y subterránea)**

A todos los árboles y arbustos muestreados se les estimó la biomasa aérea y subterránea utilizando la ecuación alométrica para selva tropical lluviosa de (Chave *et al.*, 2005), a esta estimación de biomasa se le aplicó el 0.5 para obtener el contenido de carbono.

$$\gamma = \exp[-2.977 + \ln(\rho D^2 h)] \text{ Ecuación 1}$$

En donde:

Y: Biomasa en kg (árbol)<sup>-1</sup>

$\rho$ : Densidad de la madera por especie en kg dm<sup>-3</sup>.

D: Diámetro normal en cm a 1.3 metros

h: Altura total en m.

ln: Logaritmo natural

exp: e elevada a la potencia dada

### **Producción de biomasa herbácea en los ADP y MDP**

Para la cuantificación de la biomasa de herbáceas en ambos sistemas, en las subparcelas de 1x1 (1m<sup>2</sup>) se seleccionaron 0.25 m<sup>2</sup>, a esta área delimitada al inicio de los muestreos, se le cortó el pasto a una altura de 15 cm del suelo, para homogeneizar su crecimiento. El material herbáceo se cortó y se pesó en fresco (PF) en una báscula electrónica portátil granataria y se almacenó en bolsas de papel con etiquetas. Estas muestras se llevaron a laboratorio para ser secadas en una estufa a 65 °C, hasta obtener su peso constante, durante un periodo de 48-72 horas, esto se realizó para saber la cantidad de biomasa en los pasto con el tiempo, en este caso por un periodo de seis meses.

### **Producción de hojarasca en los ADP**

En el caso de la hojarasca el método consistió en coleccionar todo el material vegetal encontrado dentro de las trampas, se registró el peso fresco en campo. Los muestreos se realizaron cada 15 días en un periodo de tiempo de seis meses, de septiembre 2012 a febrero 2013. Las muestras se depositaron en

bolsas de papel estraza con los datos del sitio. Después se secaron en una estufa a 65 °C hasta obtener su peso constante, durante un periodo de 48-72 horas.

### **Estimación de Carbono en raíces**

Las raíces de las plantas almacenan carbono atmosférico del CO<sub>2</sub>, para contabilizarlo se utilizó la ecuación alométrica desarrollada por (Cairns *et al.*, 1997). Se supone que mientras más árboles hay, mayor cantidad de raíces habrá.

$$Y = \exp[-1.0583 + 0.8836 \ln(ABD)] \quad \text{Ecuación 2}$$

Y: Biomasa de raíces gruesas en Mg ha<sup>-1</sup> de materia seca.

ABD: Biomasa arbórea y arbustiva en Mg ha<sup>-1</sup> de materia seca.

ln: Logaritmo natural.

exp: e elevada a la potencia dada

### **Estimación de Carbono orgánico en suelo (COS)**

A las muestras de suelo tomadas al centro de las parcelas a tres profundidades de 0-10, 10-20 y de 20-30 cm., en ambos sistemas, se les determinó su pH, textura, materia orgánica y densidad aparente (DA). La materia orgánica del suelo se determinó por el método de combustión húmeda descrita por Walkley y Black, la densidad aparente por el método del cilindro de volumen conocido (Márquez, 2000) y la textura por el procedimiento de Bouyoucos (NOM-021-SEMARNAT-2000) y el pH por el método de la (NOM-021-SEMARNAT-2000).

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

### Biomasa

La biomasa total de los potreros con árboles dispersos se distribuyó de la siguiente forma: biomasa aérea  $76.6 \pm 11.90$  Mg biomasa  $\text{ha}^{-1}$  lo que representa el (74%) de la biomasa total, seguido de la biomasa de raíces de los árboles  $12.68 \pm 1.83$  Mg  $\text{ha}^{-1}$  equivalente al (12%) y la biomasa de pastos con  $14.34 \pm .09$  Mg biomasa  $\text{ha}^{-1}$  (14%). Estos resultados coinciden con lo reportado por Morales (2013), García (2013) y otros estudios, quienes indican que la mayor concentración de biomasa es arbórea y por ende el carbono está en la parte aérea, y dentro de la parte aérea esta el fuste. Cabe mencionar que la acumulación de carbono (C) es más evidente en la biomasa de árboles y arbustos; las cantidades de almacenamiento de C en la biomasa dependen de la proporción de árboles presentes y del tamaño del árbol (Montagnini y Nair, 2004). La densidad de arboles fue de  $266.7 \pm 10.03$  árboles  $\text{ha}^{-1}$  ( $n=18$ ), (UM de  $26.67 \pm 10.03$ ), con diámetros de  $21.29 \pm 11.88$  cm.

De acuerdo con Young (1997), la producción de biomasa aérea en diferentes Sistemas Agroforestales (SAF) y regiones ecológicas varía de  $2.3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $48 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dependiendo del número de componentes, estratos y arreglos espaciales y temporales. La producción de biomasa subterránea puede variar de  $1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a  $4.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , por lo que los valores arriba reportados de este estudio son mayores.

Por otro lado, los SAF almacenan más carbono que los sistemas tradicionales agropecuarios de monocultivo de pastos. Especialmente, los sistemas

silvopastoriles, los barbechos mejorados, los sistemas taungya y de cultivos de café orgánico bajo sombra con valores de 285, 310.4, 311 y 427.6 Mg biomasa·ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Soto-Pinto *et al.*, 2010), estos datos son mayores a los reportados en este trabajo de sistema silvopastoril, debido a la mayor proporción de arboles.

### **Biomasa y Carbono en hojarasca**

La biomasa de hojarasca se comportó de manera diferente en los meses de septiembre de 2012 a febrero de 2013 (Figura 3), el promedio de la biomasa en los seis meses de muestreo fue de 33.12 ± 1.69 Mg ha<sup>-1</sup>, el rancho uno desde que inició la recolecta de hojarasca presentó más producción de biomasa y por ende mayor flujo de carbono a diferencia del rancho dos que fue el que presentó la menor cantidad de biomasa: el rancho uno tubo 3.78 ± 1.5 Mg C ha<sup>-1</sup> y el rancho dos 1.57 ± 0.9 Mg C ha<sup>-1</sup>, estadísticamente hay diferencia p<.0001\* los datos del rancho uno en los meses de septiembre y octubre son diferentes a todos los meses del rancho dos. Estos resultados se cree que se deben en parte a que los arboles en potreros a mayor espaciamiento desarrollan mayores copas y por ende producen más hojarasca (Smith *et al.*, 1997). La densidad de arboles del rancho uno fue de 26 ± 4.04 y la del rancho dos es de 29 ± 10.44.

### **Carbono orgánico del suelo**

De acuerdo a los análisis estadísticos se encontró que hay diferencias altamente significativa con p<.0001 (t student=0.05) entre los sistemas ADP y MDP con las profundidades de carbono en el suelo, lo cual indica que el sistema ADP almacena mayor cantidad de carbono en el suelo con promedios

de  $85.81 \pm 3.76 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , mientras que el sistema MDP almacena  $33.49 \pm 3.07 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , (Cuadro 1), el total del carbono almacenado en los ADP es de  $257.43 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y para los MDP es de  $100.47 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Estos resultados confirman que la presencia de árboles influye en el almacenamiento de carbono por tal motivo se les recomienda a los productores tener árboles en los sistemas. Rangos dentro de lo reportado por Balbontín *et al.* (2009), quienes reportaron que el contenido de carbono orgánico del suelo, en diferentes grupos climáticos de México, varía desde  $34.75 \text{ Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$  (clima muy seco y semicálido) hasta  $168.79 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (clima tropical húmedo con lluvias todo el año). El carbono en el suelo no presentó diferencias significativas entre las profundidades de este por sistema, pero cabe mencionar que el carbono se encuentra en todo el rango de profundidades y hay diferencias en el almacenamiento entre los dos sistemas.

### **Biomasa y Carbono de las herbáceas (pastos)**

Los MDP tienen mayor producción de biomasa herbácea ( $31.36 \pm 1.57 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) a diferencia de los ADP que almacenan menor ( $14.34 \pm 0.09 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), ( $p < .0001$ ) a los seis meses de muestreo, similar a Casanova *et al.*, (2010). Sin embargo, estos datos aquí reportados, muestran que los ADP tienen más carbono total, al sumar el carbono almacenado en árboles, raíz y suelo y en los flujos de hojarasca y pastos (herbáceas) (Cuadro 2 y 3). Cabe mencionar que Aguilar (2007) en la Selva Lacandona encontró en monocultivo de pastos, hasta  $60.62 \text{ Mg ha}^{-1}$ , cantidad superior a lo aquí reportado. De acuerdo a la revisión de otros artículos de (Andrade e Ibrahim, 2004; FAO, 2002; Ibrahim *et al.*, 2007, Ordoñez *et al.*, 2008), se menciona que el carbono estimado en el

componente herbáceo, tiene una tendencia a ser mayor en los potreros, que en otros sistemas.

## CONCLUSIONES

En los sistemas ADP, la parte que tienen la capacidad para almacenar más carbono es el suelo, seguido de la parte aérea, el fuste de los árboles y las raíces. Cada uno de los componentes (árbol, hojarasca, pasto y suelo) que integran el sistema tiene una aportación, por lo que esto se debe a la densidad de arboles que hay por hectárea. Los pastos (victoria) del sistema ADP almacenaron menos biomasa, a diferencia del sistema MDP. Los suelos también presentaron diferencias en los dos sistemas, los ADP presentaron más carbono orgánico en las tres profundidades. Los reservorios (suelo, arboles y raíz) almacén más carbono que los flujos (pastos y hojarasca).

## REFERENCIAS

Andrade, H.; Ibrahim, M. (2004). ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles?. *Agroforestería en las Américas*, 10 (39-40): 109-116.

Aguilar V. (2007). Almacenamiento de carbono en sistemas de pasturas en monocultivo y Silvopastoriles, en dos comunidades de la selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de Maestría, Chapingo, Estado de México. 90 p.

Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 45 (2):107-115.

Balbontín-Claudio, C., Cruz, C. O., Paz, F. & Etchévers, J. D. (2009). *Soil carbon sequestration in different ecoregions of Mexico*. In: Rattan Lal and Ronald F. Follett, (Eds). *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*. 2nd edition. Special Publication 57. Madison, WI, USA.

Beer, J.; Harvey, C.; Ibrahim, M.; Harmand, J. M.; Somarraba, E. y Jiménez, F. (2003). Servicios Ambientales de los Sistemas Agroforestales. *Agroforestería en las Américas*. 10(37-38):80-87.

Brown, S. (2001). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Poll.* 116: 363-372.

Casanova, L. F.; Ramírez, A. L.; Solorio S. F. J. (2010) b. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12: 33-41.

Cairns M. A., S. Brown, E. H. Helmer & E. H. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia*. 111:1-11.

Chave J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. and Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145: 87–99.

Smith, D., Larson, B., Kelly M. J., y P. M. S. Ashton. (1997). The practice of silviculture: applied forest ecology. 6a Ed., John Wiley and Sons. New York, USA.

FAO. (2002). Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación. Roma. 83 p.

Fisher, M. J.; Rao, I. M.; Ayarza, C. E.; Lascano, C. E.; Sanz, J. I.; Thomas, R. J. y Vera, R. R. (1994). Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature*. 31:236-238.

Fondo Nacional del Ambiente (Fonam). (2006). *El cambio climático*. (En línea): Fonam, ([http:// www.fonamperu.org/general/cambio.asp](http://www.fonamperu.org/general/cambio.asp) (Consultado el 29 de agosto de 2010).

García D. A. y L. C. Cámara. (2008). Captura de carbono como alternativa para la conservación del ANP cascadas de Reforma, Balancán, Tabasco, México. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 10 p.

Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P.; Casasola, F. y Rojas, J. (2007). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. 45:27-36.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000). IPCC Special Report: Land use, land use change and forestry. S. N. T.

INEGI. (2008). Sistema para la Consulta del Anuario Estadístico de Tabasco. Síntesis de información geográfica del Estado de Tabasco. Secretaria de Planeación y Presupuesto. 1a. Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. México. 574 p.

Martínez-Sánchez J. and L. Cámara. 2012. Is there a relationship between floristic diversity and carbon stocks in tropical vegetation in Mexico?. *African Journal of Agricultural Research*. 7(17):2584-2591.

Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61:281–295.

Ordóñez J. A., B. J. De Jong, y O. Maser. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7:27-47.

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.

Salgado, L. (2004). *El mecanismo de desarrollo limpio en actividades de uso de la tierra, cambio de uso y forestería (Lulucf) y su potencial en la región latinoamericana*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Cepal-Serie Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile. 84 p.

Soto-Pinto I, Anzueto M., Mendoza J., Jiménez Ferrer G., de Jong B 2010. Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of

Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78 (1): 39-51. DOI: 10.1007/s10457-009-9247-5.

Vine, E.; Sathaye, J. y Makundi, W. (1999). Guidelines for the monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125 p

Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management*. 2da ed. UK. CAB International. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

ANEXO DE FIGURAS

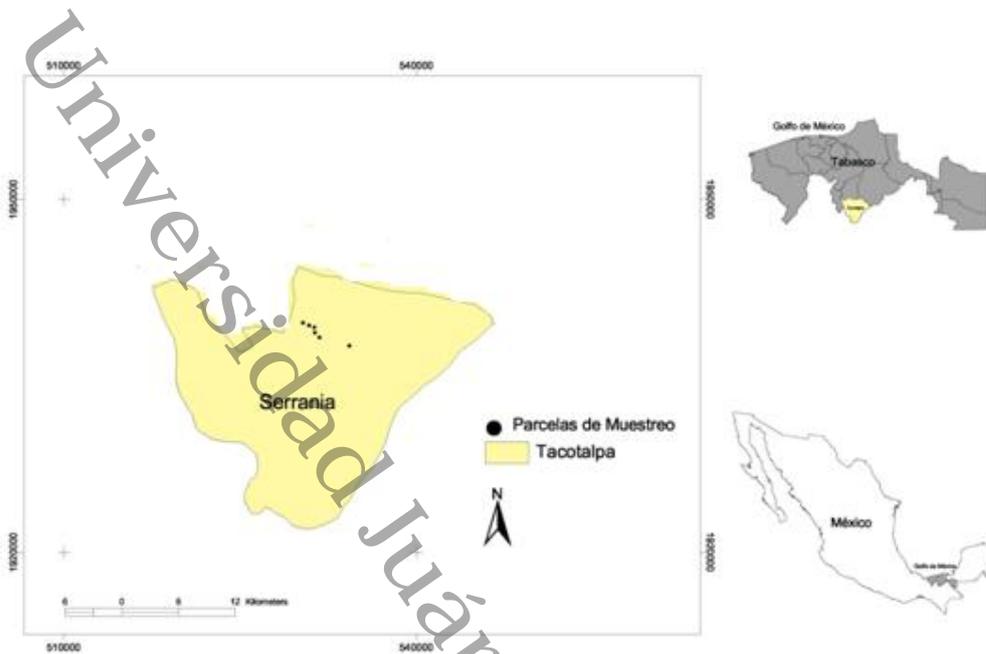


Figura 1 Ubicación de los sitios de estudio

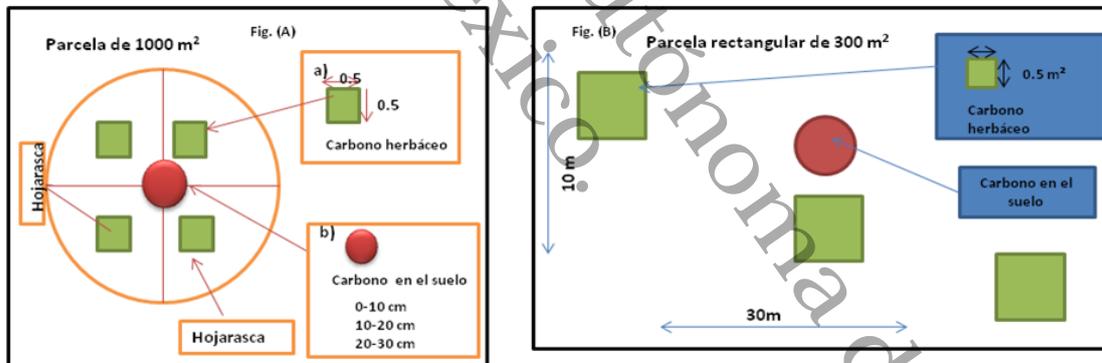


Figura. 2 Diseño de la parcela de muestreo de ambos sistemas: A) Diagrama de la parcela circular de 1000 m<sup>2</sup> para la cuantificación del carbono en los diferentes reservorios en potreros con arboles dispersos (ADP); B) Diagrama de la parcela rectangular en el monocultivo de pastos (MDP).

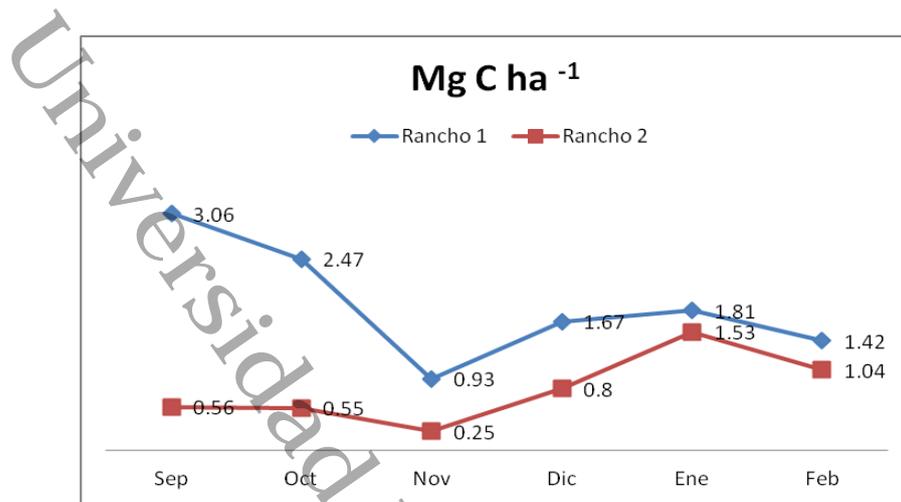


Figura 3. Muestra los Mg de Carbono ha<sup>-1</sup> en hojarasca en los diferentes meses para ADP.

**ANEXO DE CUADROS**

Carbono almacenado en el suelo		
Sistema	Profundidad	C.O.S (Mg ha <sup>-1</sup> )
ADP	0-10	85.41 ± 6.73 *
ADP	10-20	82.03 ± 6.73 *
ADP	20-30	89.99 ± 6.73 *
MDP	0-10	31.64 ± 5.49
MDP	10-20	31.92 ± 5.49
MDP	20-30	36.91 ± 5.49

Diferencia significativa p<.0001, tukey =0.05.

**Cuadro 1. Carbono orgánico almacenado en el suelo (C.O.S) en los ADP (Árboles dispersos en potreros) y MDP (Monocultivo de pastos) en tres diferentes profundidades.**

Sistemas	Biomasa aérea (árbol)	Carbono aéreo	Biomasa de raíz	Carbono de raíz	Carbono orgánico del suelo
ADP	76.6 ± 11.90 Mg de Biomasa ha <sup>-1</sup>	38.3 Mg C ha <sup>-1</sup>	12.68 ± 1.83 Mg de Biomasa ha <sup>-1</sup>	6.34 Mg C ha <sup>-1</sup>	257.43 Mg C ha <sup>-1</sup>
MDP					100.47 Mg C ha <sup>-1</sup>

**Cuadro 2. Almacén de Biomasa y carbono de cada uno de los componentes del sistema.**

Sistemas	Biomasa herbácea (pasto)	Carbono herbácea	Biomasa hojarasca	Carbono hojarasca
ADP	14.34 ± .09 Mg de Biomasa ha <sup>-1</sup>	7.17 Mg C ha <sup>-1</sup>	33.12 ± 1.69 Mg de Biomasa ha <sup>-1</sup>	16.09 Mg C ha <sup>-1</sup>
MDP	31.36 ± 1.57 Mg de Biomasa ha <sup>-1</sup>	15.68 Mg C ha <sup>-1</sup>		

**Cuadro 3. Flujos de Biomasa y Carbono entre los ADP y MDP.**