



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO
EN PLANTACIONES DE HULE (*Hevea brasiliensis*)
EN HUIMANGUILLO, TABASCO**

LILIANA YARENI LÓPEZ REYES

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

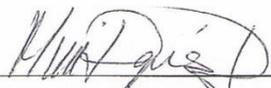
MAESTRA EN CIENCIAS

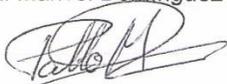
H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2015

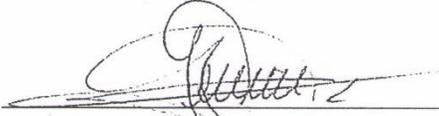
Presente tesis, titulada: **Estimación de carbono almacenado en plantaciones de Hule (*Hevea brasiliensis*) en Huimanguillo, Tabasco**, realizada por el alumna: **Liliana Yareni López Reyes**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de.

**MAESTRA EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO
CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERA: 
Dra. Marivel Domínguez Domínguez

ASESOR: 
Dr. Pablo Martínez Zurimendi

ASESOR: 
Dr. Joel Zavala Cruz

ASESOR: 
Dr. Armando Gómez Guerrero

ASESOR: 
M.C. Saúl Posada Cruz

H. Cárdenas, Tabasco 10 de junio del 2015

RESUMEN GENERAL

Las plantaciones de *Hevea brasiliensis* contribuyen a la mitigación de dióxido de carbono en la atmósfera al fijar carbono a través de la fotosíntesis y almacenarlo en cada uno de los componentes del árbol (hojas, ramas y fustes) y por la transformación de residuos orgánicos (hojarasca, raíces y madera en proceso de descomposición) en materia orgánica del suelo. En el presente estudio se estimó el carbono almacenado en la parte arbórea (fustes, ramas, y total arbóreo) y suelo en seis plantaciones de *Hevea brasiliensis* de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años de edad, las cuales corresponden a las etapas preproductiva, juventud, adulta y vejez en tres comunidades del municipio de Huimanguillo, Tabasco. La estimación de carbono almacenado de los componentes del árbol se determinó a través de la regresión lineal. Los resultados se analizaron mediante la comparación de medias de Tukey, en la parte arbórea y suelo. El carbono almacenado en el fuste en la plantación 51 años fue $192.32 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, en las ramas $64.75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y el total del árbol $257.07 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que en la plantación de 5 años el carbono almacenado fue menor. El almacenamiento de carbono en el suelo se determinó a dos profundidades: de 0-30 cm y 30-60 cm. También se realizaron perfiles de suelos en cada plantación. Para obtener muestras de suelos se realizaron 54 barrenaciones por plantación para realizar los análisis correspondientes de pH, Da y MO; para determinar el carbono almacenado se utilizó la materia orgánica y la densidad aparente, y se empleó el factor de Van Benmelen de 1.724. Los resultados mostraron que la plantación de 25 años de edad presentó el valor más

alto carbono de 178.47 Mg.ha⁻¹ (0-30cm) y 176.57 Mg.ha⁻¹ (30-60) por el desarrollo del horizonte A, mientras que la plantación de 51 años de edad presentó el valor inferior; esto se debe a la unidad de suelo a la que pertenece, desarrollo en el relieve inclinado que se encuentra expuesto a erosión. Los árboles en etapa de vejez, fijan y almacenan mayor carbono en la parte arbórea que en las demás etapas, aunque en la plantación de 25 años (etapa adulta) presentó mayor almacenamiento de carbono en el suelo que en las otras etapas, con un valor de 355.03 Mg.ha⁻¹. Por esta razón, la especie *H. brasiliensis* puede considerarse como una fuente potencial de mitigación ante el cambio climático por la capacidad de fijar CO₂ y almacenarlo tanto en la parte arbórea, como en suelo.

ABSTRACT

Hevea brasiliensis plantations contribute to mitigation of carbon dioxide in the atmosphere to fix carbon through photosynthesis and stored in each of the components of the tree (leaves, branches and stems) and the transformation of organic waste (litter roots and decaying wood) in soil organic matter. In the present study the carbon stored in tree part (stems, branches, and all arboreal) and soil in six plantations of *Hevea brasiliensis* 5, 9, 15, 25, 32 and 51 years of age was estimated, which correspond to the pre-production stages, youth, adult and elderly in three communities in the municipality of Huimanguillo, Tabasco. Estimating stored tree of carbon components was determined by linear regression. The results were analyzed by means comparison Tukey part in tree and soil. The carbon stored in the shaft 51 years plantation was 192.32 Mg.ha⁻¹, in the branches of 64.75 Mg.ha⁻¹ and total 257.07 Mg.ha⁻¹ tree, while in the plantation of 5 years stored carbon was lower. Carbon storage in the soil was determined at two depths: 0-30 cm and 30-60 cm. Soil profiles were also performed in each plantation. For soil samples 54 drillings were performed by planting the appropriate analysis for pH, Da and MO; to determine the carbon stored organic matter and bulk density was used, and Van Benmelen factor of 1,724 was used. The results showed that the planting of 25 years old had the highest value of 178.47 Mg.ha⁻¹ carbon (0-30cm) and 176.57 Mg.ha⁻¹ (30-60), while planting of 51 years age had the lowest value. The trees in old age stage, set and store more carbon in tree party in the other stages, although carbon storage in the soil, planting 25 (adulthood) had higher carbon with a value of 355.03 Mg. ha⁻¹ than the other stages. For this reason, the species *H. brasiliensis* can be

considered as a potential source mitigation to climate change by the ability to fix CO₂ and store both the tree part, and soil.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir y me guió durante este tiempo, pero sobre todo por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar en los diferentes problemas que se presentaban, enseñándome a enfrentar cualquier adversidad sin perder el objetivo principal.

Al Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para los estudios de la maestría.

Al colegio de Postgraduados, por la oportunidad de estudiar y fortalecer mi formación académica.

A la Dra, Marivel Domínguez Domínguez, por su amistad, confianza, paciencia, así como el gran apoyo a la elaboración y dirección de esta investigación y por haberme formado como profesional.

Al Dr. Pablo Martínez Zurimendi, por su amistad, asesoría y orientación dirección en el desarrollo de esta investigación, pero sobre todo por la paciencia brindada.

Al Dr. Joel Zavala Cruz, por su apoyo, enseñanzas y por la orientación para el enriquecimiento de este trabajo.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero, por su apoyo, conocimientos, revisión y sugerencias para enriquecer esta investigación.

Al Mtro. Saúl Posada Cruz, por su amistad, por su disposición de atender mis consultas.

A los Dres. Roberto de la Rosa Santa María y David Jesus Palma López, por su apoyo y disposición para atender mis consultas.

A los productores de las plantaciones de *H. brasiliensis*, Javier Vidaña Ochoa, Juan Zepeda Cruz, Albino López Pérez, Esteban López Pérez e Ismael López Pérez por la autorización y la oportunidad de desarrollar la presente investigación en Huimanguillo, Tabasco.

A mis amigos por su apoyo para realizar la investigación en campo: Roman, Juan Pablo Gómez González y Rodolfo Barragán Hernández.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi madre Abigail Reyes Castañeda y a mi padre Gilberto López Marroquín por sus consejos, amor, confianza, y por enseñarme el compromiso conmigo misma, a los dos por su incondicional apoyo.

A mis hermanos: Samia, Lennin y Eduardo, por su confianza, apoyo y por todo su cariño.

A todos mis amigos y compañeros del Colegio de Postgraduados:

Sandra Atóndo Cordova, Sarai Mejía Patistán, Brenda Cautiño, Juan Carlos Molina, Gabriel, Omar, Rodolfo, Juan Pablo, Eva, Virginia, Matias y Maribel.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CONTENIDO | X |
| I. INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| II. OBJETIVOS | 6 |
| Objetivo General..... | 6 |
| Objetivos particulares | 6 |
| III. HIPÓTESIS | 6 |
| IV. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 7 |
| Ciclo de carbono..... | 7 |
| Plantaciones forestales capturan CO ₂ | 7 |
| Los productos derivados de la madera almacenan CO ₂ | 9 |
| Almacenamiento de carbono en el suelo | 10 |
| V. REFERENCIAS | 11 |
| VI: CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA DE PLANTACIONES DE HULE (<i>Hevea brasiliensis</i>) DE DIVERSAS EDADES | 16 |
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| OBJETIVO | 22 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 22 |
| Área de Estudio | 22 |
| Aplicación de entrevistas | 24 |
| Muestreo de parcelas | 25 |
| Biomasa aérea (fuste y ramas) | 26 |
| Análisis estadístico | 27 |
| RESULTADOS | 27 |
| Inventario forestal | 28 |
| Diámetro (d) y altura de los árboles (h)..... | 29 |
| Volumen de madera en los árboles | 30 |
| Biomasa de fuste, ramas y total en los árboles..... | 32 |
| Estimación de carbono almacenado en las plantaciones..... | 33 |
| DISCUSIÓN | 35 |
| CONCLUSIÓN | 38 |
| REFERENCIAS | 39 |

| | |
|---|----|
| VII: ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO, EN PLANTACIONES DE <i>Hevea brasiliensis</i> EN HUIMANGUILLO, TABASCO | 45 |
| RESUMEN | 46 |
| ABSTRAC | 47 |
| INTRODUCCIÓN | 47 |
| OBJETIVO | 49 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 49 |
| Área de Estudio | 49 |
| Descripción del estudio..... | 50 |
| Descripción, caracterización y clasificación de los suelos de las plantaciones . | 52 |
| Muestreo de parcelas | 53 |
| Análisis estadístico | 55 |
| RESULTADOS..... | 56 |
| DISCUSIÓN | 58 |
| CONCLUSIÓN | 59 |
| REFERENCIAS | 60 |
| VIII. CONCLUSIONES GENERALES | 64 |
| IX. ANEXO | 66 |
| ACRISOLES (AC)..... | 67 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Edad de los árboles de acuerdo a la etapa de preproductiva y productiva preproductiva y productiva. | 24 |
| Tabla 2. Antecedentes, asociación de cultivos en callejones y densidad actual de las plantaciones de <i>H. brasiliensis</i> en Tabasco. | 28 |

| | |
|---|----|
| Tabla 3. Comparación de medias, diámetro, altura, área basal H. brasiliensis, en Huimanguillo, Tabasco, México..... | 30 |
| Tabla 4. Análisis de varianza de volumen de madera en plantaciones de diversas edades de H. brasiliensis. | 31 |
| Tabla 5. Comparación de medias por Tukey, biomasa de fustes, ramas y total de la parte aérea y carbono para H. brasiliensis, en Huimanguillo, Tabasco, México. | 33 |
| Tabla 6. Análisis de varianza de almacenamiento de carbono de fuste, ramas y total de la parte aérea de H. brasiliensis. | 34 |
| Tabla 7. Edades de los árboles de acuerdo a la etapa preproductiva y productiva de los árboles..... | 51 |
| Tabla 8. Determinación de carbono almacenado y densidad aparente. | 54 |
| Tabla 9. Características del suelo en plantaciones de H. brasiliensis en diversas edades. | 57 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones de <i>H. brasiliensis</i> | 23 |
| Figura 2. Comparación de medias de volumen de madera ($m^3 \cdot ha^{-1}$) en plantaciones de diversas edades de <i>H. brasilienses</i> , en Huimanguillo, Tabasco, México. | 32 |
| Figura 3. Ubicación geográfica de las plantaciones de <i>H. brasiliensis</i> | 50 |

INDICE DE ANEXO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla A 1. Propiedades físicas y químicas del perfil 1..... | 73 |
| Tabla A 2 Propiedades físicas y químicas del perfil 2..... | 75 |
| Tabla A 3. Propiedades físicas y químicas del perfil 3..... | 77 |
| Tabla A 4. Propiedades físicas y químicas del perfil 4..... | 79 |
| Tabla A 5. Propiedades físicas y químicas del perfil 5..... | 81 |
| Tabla A 6. Propiedades físicas y químicas del perfil 6..... | 83 |

INDICE DE ANEXO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura A 1. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico (Férrico, Húmico, Hiperdístico, Arcilloso) ACct(fr,hu,hd,ce)..... | 72 |
| Figura A 2. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Úmbrico (Férrico, Hiperdístico, Arcilloso) Cct,um(fr,hd,ce) | 74 |
| Figura A 3. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Úmbrico (Húmico, Hiperdístico, Arcílico) ACct, um (hu,hd,ce)..... | 76 |
| Figura A 4. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Úmbrico (Húmico, Hiperdístico) ACct, um (hu, hd) | 78 |
| Figura A 5. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Gléyico Úmbrico (Férrico, Húmico, Hiperdístico, Arcílico) ACct,gl,um(fr,hu,hd,ce) | 80 |
| Figura A 6. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico (Hiperdístico, Arcílico) ACct(hd,ce)..... | 82 |
| Figura A 7. Carbono almacenado total de la parte arbórea y del suelo | 84 |

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En las últimas décadas, el cambio climático global ha sido un problema mundial de gran importancia, ya que se considera que está generado por una serie de acciones que realiza el ser humano, dentro de las cuales se destacan la deforestación, la eliminación de áreas boscosas y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que impiden que la energía irradiada de la superficie terrestre regrese a la atmósfera de forma normal y fluida, provocando con ello un sobre calentamiento, lo cual trae como consecuencia una serie de fenómenos climáticos y ambientales en diferentes partes del globo terrestre (Masera *et al.*, 2000; Rodríguez *et al.*, 2013); y aún más se debe a la falta de políticas y conocimientos que incentiven el establecimiento de plantaciones arbóreas como almacén de CO₂ atmosférico (Mendizábal *et al.*, 2009). Sin embargo a las actividades humanas, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía, se añaden el crecimiento de cultivos agrícolas, ganadería extensiva y expansión urbana, que ocasionan la deforestación provocando la pérdida de la cobertura forestal y disminución de la biodiversidad en el ecosistema, debido al cambio de uso de suelo (Mas *et al.*, 2009).

De 1976 a 2007 se deforestaron 16,575,924 hectáreas en el mundo, con un promedio de pérdida de vegetación de 534,707 ha al año, debido al cambio de uso de suelo que realiza el ser humano (Rosete *et al.*, 2014), lo cual, genera grandes emisiones de gases de efecto invernadero (Flores *et al.*, 2012; Weifeng *et al.* 2013).

México se encuentra dentro de los 15 países con mayor emisión de gases de efecto invernadero a nivel mundial. Las emisiones netas totales anuales de CO₂ alcanzan 444 millones de toneladas, lo que representa aproximadamente el 2% de las emisiones mundiales. De esta cantidad, cerca del 70% corresponden a diversos procesos de combustión de los sectores energético, industrial, de transporte y otros servicios; y el 30% restante se origina del proceso del cambio del uso del suelo, relacionado principalmente con la agricultura y ganadería convencional (Casanova *et al.*, 2011). Por lo tanto, se requieren estimaciones fiables de los depósitos de carbono, sobre todo en relación con la dinámica del uso de suelo.

Debido a la problemática que existe a nivel mundial por el calentamiento global y el efecto invernadero, se ha centrado la atención en el Servicio de fijación del carbono (C) por el almacenamiento en compartimentos llamados “depósitos”. De estos depósitos, los que almacenan mayor cantidad son las rocas (75 x 10⁶Gt C) y los océanos (39,000 Giga toneladas, Gt=mil millones de toneladas), pero también son importantes la atmósfera (760 Gt C), la vegetación terrestre (560 Gt) y el suelo a profundidad de 1 m (2,011 Gt C) (Casanova *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2013).

La forma de mitigar los efectos del CO₂, además de reducir las emisiones, es almacenarlo durante el mayor tiempo posible en la biomasa de la vegetación (bosques, cultivos, plantaciones forestales) y en el suelo. La biomasa se logra mediante la fotosíntesis, en donde el dióxido de carbono es absorbido a través de pequeñas aberturas en las hojas (estomas), y se transfiere a los cloroplastos. El carbono dentro de los azúcares se utiliza posteriormente junto con otros nutrientes para generar el cuerpo de la planta (hojas, tallos, raíces, flor y frutos), incluyendo la

biomasa leñosa de los árboles. Alrededor de 90% del peso seco de una planta consiste en carbono y oxígeno obtenido a partir de la atmósfera a través de la asimilación de carbono fotosintético dentro de las hojas (López *et al.*, 1999; Dávalos *et al.*, 2008). La tasa de fijación de carbono está en función de la especie, edad, el índice de sitio, el turno de corta, clima, precipitación, fertilidad y uso del suelo, etc. El índice anual de fijación de carbono es más alto en las plantaciones jóvenes, o sea, las que se encuentran en pleno crecimiento, que en la plantación adulta (Cubero y Rojas, 1999). Es por eso que la Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático (CMNUCC) ha reconocido la importancia de las plantaciones forestales, ya que es una opción de mitigación de gases de efecto invernadero, para conservar y mejorar las reservas de carbono (Kaul *et al.*, 2010).

El suelo también es un sumidero potencial de dióxido de carbono atmosférico, por almacenar una cantidad sustancial de carbono por encima y por debajo, a través de la descomposición de los residuos vegetales: hojarasca, raíces y madera en proceso de descomposición (Uri *et al.*, 2012). La concentración de Carbono orgánico en los suelos forestales varía desde 0% en suelos muy jóvenes hasta un 50% (Lal, 2005; Gama *et al.* 2011).

Por lo tanto, el mantenimiento de reservas de carbono en sistemas agroforestales, bosques, plantaciones forestales y no forestales, se ha convertido en un gran potencial para fijar el carbono en corto o mediano plazo y al mismo tiempo en servicio ambiental reconocido a escala global, que puede tener un valor económico considerable para países en vía de desarrollo (Mena, 2008; Uri *et al.*, 2012).

Además los bosques y las plantaciones forestales no sólo tienen un valor económico de producción comercial (madera), sino también tienen un valor representativo para el ser humano a través de las funciones ambientales que proporcionan, incluyendo el almacenamiento de carbono, favoreciendo a la biodiversidad y la conservación de los recursos hídricos y edáficos (Nakajima *et al.*, 2011).

La importancia de este estudio de almacenamiento de carbono en plantaciones de *H. brasiliensis* se debe a que México, se ubica dentro de las 15 naciones con mayor emisión de CO₂, y al mismo tiempo tiene un alto potencial de recursos naturales (Pacheco-Escalona *et al.*, 2007; Casanova *et al.*, 2011). Además cuenta con plantaciones establecidas de *H. brasiliensis*, en Chiapas, Tabasco, Oaxaca, y Veracruz destinadas a la producción de látex (Rojo *et al.*, 2011). En el estado de Tabasco existe una superficie plantada de 4,243.13 hectáreas de *H. brasiliensis*, los municipios donde se encuentran dichas plantaciones son Huimanguillo, Macuspana, Jalapa y Teapa (SIAP, 2013).

H. brasiliensis es una especie arbórea que, además de aprovecharse el látex y la madera, puede generar otro tipo de aprovechamiento, que permite incursionar en el mercado de los servicios ambientales derivados de la fijación de carbono atmosférico, generando mayor beneficio. Además, es un sistema basado en los árboles, que son una forma conveniente de fijación o almacenamiento de carbono de la atmósfera para disminuir las emisiones netas, lo cual es importante para los países tropicales (Cacho *et al.*, 2003; Moreno, 2005). Por esta razón *H. brasiliensis* es una especie que se ha convertido en una alternativa de ingreso económico de

muchas familias por el aprovechamiento industrial de látex, la madera al final del turno, la comercialización de servicios ambientales y la conservación de flora y fauna (Moreno, 2005; MAVDT, 2010).

Por lo anterior, se realizó esta investigación con el fin determinar el almacenamiento de carbono y contribuir a la mitigación de concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. Asimismo, la información generada servirá para implementar un incentivo económico como pago por servicio ambiental (PSA) para fijación o almacenamiento de carbono para los productores de hule, dado que se trata de una especie con alto potencial para la captura de CO₂ atmosférico (Duran *et al.*, 2011).

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Estimar el almacenamiento de carbono en plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis*) en Huimanguillo, Tabasco.

Objetivos particulares

Determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de *Hevea brasiliensis* en diversas edades.

Cuantificar el carbono almacenado en suelo de plantaciones de *Hevea brasiliensis*.

III. HIPÓTESIS

3.1. Considerando los reservorios de la biomasa aérea de las plantaciones de hule, existen diferencias estadísticamente significativas en la masa de carbono en diferentes edades.

3.2. Existe diferencia en la masa total de carbono en suelo en plantaciones de *Hevea brasiliensis* de diferentes edades.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

Ciclo de carbono

El ciclo de carbono comienza con la fijación del anhídrido carbónico atmosférico a través de los procesos de fotosíntesis, realizada por las plantas y ciertos microorganismos. En este proceso, el anhídrido carbónico y el agua reaccionan para formar carbohidratos y liberar oxígeno a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se consumen directamente para suministrar energía a la planta y se libera anhídrido carbónico a través de sus hojas o de sus raíces. Otra parte constituyen los tejidos de las plantas que, en el caso de la vegetación leñosa permanecen largos periodos de tiempo; otra parte son consumidos por los animales, que también respiran y liberan anhídrido carbónico. Las plantas y los animales mueren y son finalmente descompuestos por microorganismos del suelo, lo que da como resultado que el carbono de sus tejidos se oxide en anhídrido carbónico y regrese a la atmósfera. El carbono contenido en bacterias y animales contribuye también a disminuir la cantidad de dióxido de carbono, aunque cuantitativamente es menos importante que el contenido en las plantas (Masera *et al.*, 2000).

Plantaciones forestales capturan CO₂

Las masas forestales juegan un papel importante en la fijación de carbono atmosférico, por contribuir a la reducción de dióxido de carbono en la atmósfera (Pérez *et al.*, 2007). Los bosques son de alta producción de biomasa y tienen una alta capacidad de capturar el CO₂ atmosférico en la biomasa y suelo del bosque (Lal, 2005). Asimismo, las plantaciones forestales tropicales con especies de rápido

crecimiento, fijan mayores cantidades de carbono en la biomasa a corto plazo, que los bosques primarios y secundarios maduros. Además, son un componente importante del ciclo global del carbono, porque constituyen un sumidero de carbono potencial además de mitigar el efecto de la deforestación. Asimismo, los ecosistemas forestales proporcionan muchos bienes y servicios, tales como la producción de madera, control de inundaciones, control de la erosión, mejoran la calidad del agua, conservan la biodiversidad, proveen de hábitat de la fauna, secuestran carbono y proporcionan recreación (Rodríguez *et al.*, 2013).

Cabe señalar, que al incorporarse el CO₂ atmosférico a los procesos metabólicos de las plantas mediante la fotosíntesis, este gas participa en la composición de todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco). Al crecer el árbol, incrementa su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en su conjunto conforman la copa), así como la altura y el grosor del tallo.

La mayor parte de captura o almacenamiento de carbono se da en los árboles jóvenes (etapa de iniciación de soporte); en árboles con mayor edad, disminuye la fijación y predomina la importancia del carbono almacenado en sus estructuras (Dai *et al.*, 2013).

Los componentes de la copa del árbol aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora paulatinamente a la atmósfera. Durante el tiempo en que el CO₂, se encuentra constituyendo alguna estructura de la planta o del suelo y

hasta que es enviado nuevamente a la atmósfera se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ fluye para regresar a la atmósfera (Maser *et al.*, 2000).

Los productos derivados de la madera almacenan CO₂

Los árboles forestales capturan y almacenan CO₂, durante su etapa de crecimiento, adulto y vejez. Una vez que haya alcanzado el diámetro, la altura total y el fuste comercial adecuado, estos son aprovechados y transformados en diferentes productos (muebles, artesanías, ventanas, puertas, entre otros). Estos productos derivados de la madera contienen CO₂, que el árbol almacenó durante el crecimiento. Durante la vida útil del producto estará almacenado el carbono. Cuando el producto se destruye, se quema o se degrada, el carbono se incorpora de nuevo al ciclo, con una velocidad que dependerá del proceso de degradación del producto. Mientras mayor sea la vida media de un producto forestal, el carbono estará almacenado por más tiempo (Maser *et al.*, 2000).

La captura de carbono se ha estudiado en varios países y en una diversidad de especies forestales, agroforestales, cultivos agrícolas. También se ha identificado que las plantaciones de *H. brasiliensis* desempeñan un papel importante en la acumulación de carbono en la biomasa (Durán *et al.*, 2011). Además de ser una especie de gran importancia a nivel mundial por su producción de látex y aprovechamiento de madera.

Almacenamiento de carbono en el suelo

Los suelos juegan un papel central en el ciclo global del carbono y constituyen un reservorio de carbono de gran tamaño 3.3 veces más grande que el reservorio atmosférico en carbono y 4.5 veces el ecosistema biótico. Esto ha despertado el interés en la búsqueda de métodos para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, y los suelos se han sugerido como un sumidero potencial de carbono atmosférico (Sierra *et al.*, 2013.)

El carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal se origina por la fragmentación de la roca madre meteorizada y por el establecimiento de un organismo vegetal que con el tiempo forma capas por depósito de materiales. Al irse acumulando éstas y compactando, almacenan una cierta cantidad de carbono, misma que aumentará por la continuidad del proceso de formación del suelo (Maser *et al.*, 2000).

La respiración del suelo se define generalmente como el CO₂ liberado de los suelos a la atmósfera a través de la actividad combinada de las raíces (respiración autótrofa); los micros y macro-organismos descomponen la hojarasca y materia orgánica en el suelo (respiración heterotrófica). Las raíces de las plantas son órganos complejos que exudan gran cantidad de compuestos a la rizófora y contienen metabolitos que ejercen un impacto sobre la micro-fauna, lo cual, permite la descomposición rápida de las hojas y los residuos de la raíz. Por esta razón, la materia orgánica del suelo es difícil de descomponer, debido a los materiales que han sido transformados en humus por los microbios. Los beneficios de la materia

orgánica del suelo son el importante papel que juegan en la estructura y en la capacidad de retención de agua del suelo y están relacionados con su papel fundamental en la función y la fertilidad de los ecosistemas terrestres (Stockmann, *et al.*, 2013).

El propósito fundamental de estudiar el almacenamiento de carbono en *H. brasiliensis* es optimizar la producción para un manejo sostenible. Además de ofrecer múltiples bondades, no sólo ambientales, sino también productivas.

V. REFERENCIAS

- Cacho, J. O., R. Graham M., M. Milne. 2003. Smallholder agroforestry projects: potential for carbon sequestration and poverty alleviation. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 81 p.
- Casanova L., F., J. Petit A., J. Solorio S. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 5-118. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047
- Cubero, M., J. A. Rojas P, S. R. 1999. Fijación de carbono en plantaciones de melina (*Gmelina arborea* Roxb), teca (*Tectona grandis* L.F.) y pochote (*Bombacopsis quinata* Jacq.) en los cantones de Hoja Ancha y Nicoya Guanacaste, Costa Rica.87 p.
- Dai, L., J. Jia, D. Yu, B. J. Lewis, L. Zhou, W. Zhou, W. Zhao, L. Jiang. 2013. Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest

- ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest ecology and management*, 300, 106-116. [DOI:10.1016/j.foreco.2012.06.046](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.046)
- Dávalos, S. R., M. I. Rodríguez M., E. M. Pinillos C. 2008. Almacenamiento de carbono. Manson, H. R., V. Hernández O., S. Gallina, K. Mehltreter. 2008. Agroecosistemas Cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y conservación. México, 223-233 p.
- Durán B., E. H., L. Duque C., J. C. Suárez S. 2011. Estimación de carbono en sistemas agroforestales de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. *Revista Ingenierías & Amazonia*, 4(1), 19-26.
- Flores, R. N. F., L. C. Mendizábal H., J. Alba L. 2012. Potencial de captura y almacenamiento de CO₂ en el Valle de Perote. Estudio de caso: *Pinus cembroides* subsp. *Orizabensis* D.K. Bailey. *Forestal Veracruzana*, 14(1), 17-22.
- Gama, R. E. F., A. C. Gama R., P. K. Ramachandran N. 2011. Soil carbon sequestration in cacao agroforestry systems: A case study from Bahia, Brazil. 85-99 p. DOI 10.1007/978-94-007-1630-8_5
- Kaul, M., M. J. Mohren G., V. K. Dadhwal. 2010. Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 15, 489–510. DOI 10.1007/s11027-010-9230-5.
- Lal, R. 2005. Forest soil and carbon sequestration. *Forest ecology and Management*, 220, 242-258. doi:10.1016/j.foreco.2005.08.015
- López, M. A., A. Schlönvoigt, M. Ibrahim, C. Kleinn, M. Kanninen. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema

- silvopastoril en la zona atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las américas*, 6(23): 51-53.
- Mas, J. F., A. Velázquez, S. Couturier. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental*, 1 (1), 23-39.
- Masera, O. R., Jong, D. B., Ricalde, I. 2000. Consolidación de la oficina mexicana para la mitigación de gases de efecto invernadero. ECOSUR-Instituto de ecología (UNAM). México. 1-97.
- MAVDT (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, política nacional de producción y consumo sostenible. Bogotá D.C. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial). 2010. Guía ambiental para la producción de caucho natural. Colombia. 93 p.
- Mena, M. V. E. 2008. Relación entre el carbono almacenado en la biomasa total y la composición fisionómica de la vegetación en los sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios del corredor biológico volcánica central-Talamanca, Costa Rica. Tesis magister scientiae en agroforestería tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza Costa Rica. 90 p.
- Mendizábal, H. L. D. C., L. Alba L., T. Suárez D. 2009. Captura de carbono por *Cedrela odorata* L. en una plantación de origen genético conocido. *Foesrat Veracruzana*, 11 (1). 13-18.
- Moreno, G. J. A., J. D. Burgos S., H. E. Nieves O., C E Buitrago S. 2005. Modelo alométrico general para la estimación del secuestro de carbono por plantaciones de caucho *Hevea brasiliensis* Mull Arg. en Colombia. *Colombia Forestal*, 91(8), 5-21.

- Nakajima, T., H. Kanomata, M. Matsumoto, S. Tatsuha, N. Shiraishi. 2011. Cost-effectiveness analysis of subsidy schemes for industrial timber development and carbon sequestration in Japanese forest plantations. *Journal of forestry research*, 22 (1), 1-12. DOI 10.1007/s11676-011-0117-4.
- Pacheco-Escalona, F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. M. Fierros G., V. M. Cetina A., H. Vaquera H., 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven en *Pinus greggii* Engelm, México. *Fitotecnia Mexicana*, 30 (3). 251-254.
- Pérez, P. S., R. Jandl, A. Rubio S. 2007. Modelización del secuestro de carbono en sistemas forestales: Efecto de la elección de especie. *Ecología*, 21, 341-352.
- Rodríguez L. G., I. Amezaga, M. Onaindia. 2013. Use of native species to improve carbon sequestration and contribute towards solving the environmental problems of the timberlands in Biscay, northern Spain. *Journal of Environmental Management*, 120, 18-26. DOI.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.032.
- Rojo, M. G. E, R. Martínez R., J. Jaso M. 2011. El cultivo del Hule en México. México: Universidad Autónoma Indígena de México- Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo Programa de Forestal. Obtenido de <http://www.uaim.mx/Documentos/CultivoDelHule.pdf>.
- Rosete, V. F. A., J. L. Pérez D., M. Villalobos D., E. N. Navarro S., E. Salinas C., R. Remond N. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20 (1), 21-35.
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). 2013. Sector presupuestal: agricultura ganadería, desarrollo rural, pesca y

alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultado el 18 de abril 2015.

- Sierra, M., F. J. Martínez, R. Verde, F. J. Martín, F. Macías. 2013. Soil-carbon sequestration and soil-carbon fractions, comparison between poplar plantations and corn crops in south-eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, 30, 1 - 6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.01.011>
- Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A. B., Courcelles, V. R., Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D. A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P. C., Chenu, C., Jastrow, J. D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W. J., Whitehead, D., Zimmermann, M. 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 80-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>
- Uri, V., M. Varik, J. Aosaar, A. Kanal, M. Kukumägi, K. Lõhmus. 2012. Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 267, 117–126. DOI:10.1016/j.foreco.2011.11.033.
- Weifeng, W., X. Wei, W. Liao, J. A. Blanco, Y. Liu, S. Liu, G. Liu, L. Zhang, X. Guo, S. Guo. 2013. Evaluation of the effects of forest management strategies on carbon sequestration in evergreen broad-leaved (*Phoebe bournei*) plantation forests using FORECAST ecosystem model. *Forest Ecology and Management*, 300 (1), 21 – 32. [doi:10.1016/j.foreco.2012.06.044](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.044)

**VI: CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA DE PLANTACIONES
DE HULE (*Hevea brasiliensis*) DE DIVERSAS EDADES**

CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA DE PLANTACIONES DE HULE (*Hevea brasiliensis*) DE DIVERSAS EDADES

Carbon stored in aboveground biomass plantation rubber (*Hevea brasiliensis*) of different ages

Liliana Y. López-Reyes¹; Marivel Domínguez-Domínguez^{1*}; Pablo Martínez-Zurimendi²; Joel Zavala-Cruz¹; Armando Gómez-Guerrero³, Saúl Posada-Cruz⁴

1 Área de Ciencia Ambiental. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carret. Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tab. C.P. 86500.

2 El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5 Ranchería Guineo, sección II CP 86280. Villahermosa, Tabasco.

3 Programa Forestal. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km 36.5, Texcoco 56230, Estado de México.

4 Área de protección vegetal. Universidad de Chiapas. Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV Huehuetán. Entronque carretera costera y estación Huehuetan, Chiapas.

*Autora para correspondencia: Marivel Domínguez Domínguez
(mdguez@colpos.mx)

RESUMEN

Las plantaciones de *Hevea brasiliensis*, contribuyen a la reducción de dióxido de carbono en la atmósfera al fijar carbono a través de la fotosíntesis y almacenarlo en cada uno de los componentes del árbol (hojas, ramas y fustes) y por la transformación de residuos orgánicos en materia orgánica del suelo. El objetivo del presente estudio fue determinar el carbono almacenado en los componentes de fuste, ramas y total del árbol en seis diferentes edades (5, 9, 15, 25, 32 y 51 años). El carbono almacenado se determinó a través de la regresión lineal y se analizó con el programa Statistical Analysis System. Los resultados se analizaron en un diseño completamente al azar y mediante la comparación de medias de Tukey. El carbono almacenado en el fuste en la plantación de 51 años fue 192.32 Mg.ha⁻¹, en las ramas 64.75 Mg.ha⁻¹ y el total del árbol 257.07 Mg.ha⁻¹, mientras que en la plantación de 5 años el carbono almacenado fue menor. Los resultados indican que *H. brasiliensis* puede considerarse como una fuente con potencial de mitigación ante el cambio climático.

Palabras clave:

Concentración de carbono, edades, fuste, ramas, Tabasco.

ABSTRACT

Hevea brasiliensis plantations, contribute to the reduction of carbon dioxide in the atmosphere to fix carbon through photosynthesis and stored in each of the components of the tree (leaves, branches and stems) and the transformation of

organic compounds in soil organic matter. The aim of this study was to determine the carbon stored in the components of stem, branches and tree total in six different ages (5, 9, 15, 25, 32 and 51). The stored carbon is determined using linear regression and analyzed with the Statistical Analysis System program. The results were analyzed in a completely randomized design and comparison of means by Tukey. Analysis indicated that the carbon concentration varies in each age; in planting 51 years age carbon stored in the stem 192.32 Mg.ha⁻¹, branches 64.75 Mg.ha⁻¹ and the total tree 257.07 Mg.ha⁻¹, while the planting of five years was lowest carbon stocks . The results indicate that *H. brasiliensis* can be considered a potential source of mitigation of climate change.

Keywords:

Carbon concentration, age, stem, branches, Tabasco.

INTRODUCCIÓN

El carbono es un componente básico y fundamental para la vida, debido a su presencia en la atmósfera, en lo vegetal, 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). Además, el ciclo del carbono se caracteriza por tener reservas atmosféricas muy pequeñas, pero sumamente activas y vulnerables a las perturbaciones ocasionadas por el hombre, las cuales 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 (CO₂) en la atmósfera ha tenido un aumento significativo junto con la de otros gases de efecto invernadero que reflejan el calor solar que regresa hacia la Tierra. Esto contribuye en casi 1/6 de las emisiones de CO₂ mundial cuando los bosques han sido talados o quemados en exceso, debido a que los árboles están compuestos de carbono en un 50%, y una vez talados, ese carbono que almacenan, regresa a la atmósfera. Por esta razón, son de gran importancia los ecosistemas forestales, ya que almacenan el dióxido de carbono de la atmósfera en cada uno de los componentes de un árbol a través de la fotosíntesis (Álamo, 2007; Percy *et al.*, 2003).

México se ubica dentro de las 20 naciones con mayor emisión de CO₂, pero al mismo tiempo tiene un alto potencial de recursos naturales como bosques, selvas y plantaciones comerciales, que son de gran importancia como almacenamiento de carbono (Pacheco *et al.*, 2007). Los árboles en particular, asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Ordoñez *et al.*, 2001). Una alternativa para mitigar el cambio climático se lograría mediante el mantenimiento de cultivos o por plantación de corta rotación y árboles de rápido crecimiento. Al mismo tiempo, la producción de árboles en plantación reduce la extracción de madera del bosque, y se contribuye a la conservación.

Las plantaciones forestales y agroforestales capturan carbono a través de la fotosíntesis y lo almacenan principalmente en la biomasa dura (madera), hojas y ramas; esto depende de los componentes del árbol, de la composición de especies en un bosque o plantación, factores climáticos locales (precipitación, temperatura),

de las características del suelo, que determinan el crecimiento del árbol (Somarriba *et al.*, 2013), de la edad de los árboles y de la fauna acompañante). Además, las tasas de carbono atmosférico tienden a disminuir en relación a la edad del bosque o a las características del suelo, sin embargo en edades tempranas o intermedias es más alta la captura de carbono (Ajit *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2011).

México cuenta con plantaciones de *H. brasiliensis*, en Veracruz, Oaxaca, Chiapas, y Tabasco, con una superficie plantada a nivel nacional de 27,165.98 hectáreas. El estado de Tabasco tiene una superficie plantada de *H. brasiliensis* de 4,243.13 hectáreas, en los municipios de Huimanguillo, Macuspana, Jalapa y Teapa (SIAP, 2013).

Se han realizado estudios en estimación de carbono en *H. brasiliensis* en sistemas agroforestales en la Amazonía de Colombia a través de modelos alométricos (Durán *et al.*, 2011); potencial de almacenamiento de carbono en plantaciones de *H. brasiliensis* Müll. Arg., en monocultivo y sistemas agroforestales de la Amazonía, Colombiana (Orjuela *et al.*, 2014); ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *H. brasiliensis*, en Veracruz, México (Monroy y Návar, 2004); análisis del crecimiento y producción de látex en plantaciones forestales comerciales de hule (*H. brasiliensis* Muell Arg.) en el Estado de Oaxaca, México (Rojo *et al.*, 2011), y potencial de secuestro de carbono de las plantaciones de cultivos de árboles, en África (Kongsager *et al.*, 2013).

OBJETIVO

El objetivo de este estudio consistió en determinar el carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*H. brasiliensis*) en diversas edades, en Acrisoles de la terraza de Huimanguillo, Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Este estudio se realizó en seis plantaciones de *Hevea brasiliensis*, ubicadas en tres ejidos de la unidad ecogeográfica, llamada “Terraza o planicies estructurales” en un paisaje de lomeríos suaves, municipio de Huimanguillo, Tabasco, en la zona tropical húmeda de México. Las plantaciones de 5, 9, 15 y 25 años corresponden al ejido Pedregal Moctezuma 1ra. Sección, ubicadas en la zona geográfica 15, en las coordenadas UTM: longitud y latitud; 433614 - 1953399, 433935 - 195299, 433551 - 1953473, y 433942 - 1953473, respectivamente. La plantación de 32 años, se localiza en el ejido de Chicoacán, con coordenadas UTM: longitud 447299 y latitud 1965282; y la plantación de 51 años, pertenece al ejido de Guadalupe Victoria, con coordenadas; Longitud 426988 y latitud 1950044 (Figura 1). Los climas que predominan en el municipio de Huimanguillo son: Af (m) cálido húmedo con lluvias todo el año y Am (f) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (INEGI, 2010). La temperatura promedio del mes más frío es de 23.3 °C y la del mes más cálido es de 32.3 °C y la precipitación promedio anual es 2,360 mm (CONAGUA-SMN, 2010).

Según Ortiz *et al.* (2005), la zona de estudio corresponde a la unidad ecogeográfica, llamada “Terraza o planicies estructurales” de edad miocénica, porque conforma un paisaje de lomeríos suaves. El suelo que predomina en este lugar es el grupo Acrisol (Zavala-Cruz *et al.*, 2014)).

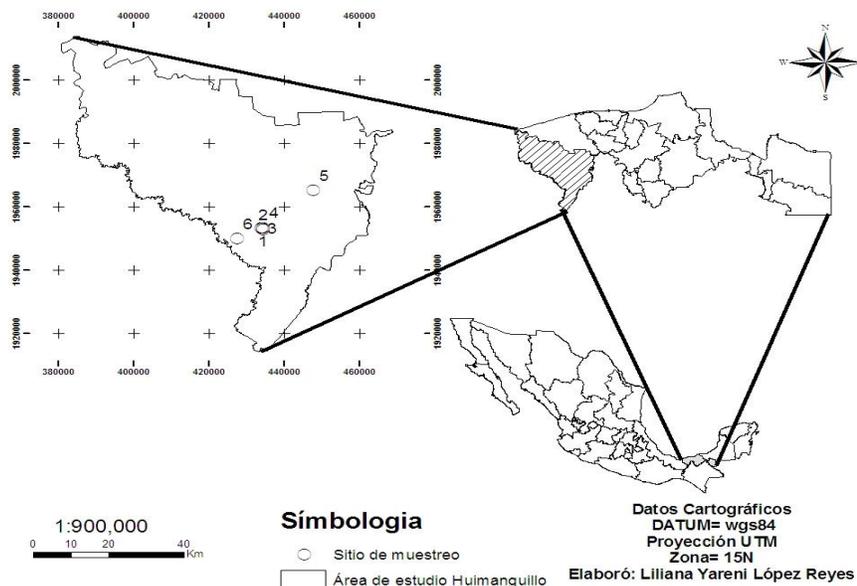


Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones de *H. brasiliensis*

Selección de las plantaciones

Para realizar el estudio se utilizó el padrón de productores de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca (SEDAFOP) y Sistema Producto Hule. Los criterios que se aplicaron para la selección de las plantaciones de *H. brasiliensis*, fue conforme a las etapas preproductiva (5 años) y productiva con tres edades: juventud (9 años), adulto (15 y 25 años), y vejez (32 y 51 años de edad); y al mismo tiempo, se consideró que las plantaciones pertenecieran a un mismo grupo de suelo para evitar el efecto por heterogeneidad de las características del

suelo en los resultados (Tabla 1). Posteriormente, se realizó el recorrido en campo para localizar a los productores y seleccionar las parcelas de las plantaciones de *H. brasiliensis*.

Tabla 1. Edad de los árboles de acuerdo a la etapa de preproductiva y productiva preproductiva y productiva.

| Edad de árboles (años) | Etapa preproductiva y productiva |
|---------------------------|----------------------------------|
| 5 | Crecimiento |
| 9 | Juventud |
| 15 | Adulto 1 |
| 25 | Adulto 2 |
| 32 | Vejez 1 |
| 51 | Vejez 2 |

Aplicación de entrevistas

Se aplicó una entrevista semiestructurada dirigida al productor de cada plantación, para conocer los antecedentes de los predios y el manejo silvícola de las plantaciones.

Muestreo de parcelas

En el estudio se realizó un inventario forestal en seis plantaciones. En cada plantación se establecieron tres parcelas cuadradas de 20 x 20 m², obteniendo un área inventariada de 7,200 m². Cada parcela está conformada de 17-29 árboles, variando la densidad de los árboles en cada plantación, obteniendo un inventario de 400 árboles. A cada árbol se le midieron las variables: diámetro a la altura de pecho (d) con la forcípula y altura total del árbol (h) con la pistola haga. De las seis plantaciones inventariadas, cuatro se encuentran en aprovechamiento de látex (9, 15, 25 y 32 años); la plantación de 5 años aún no está en aprovechamiento y la de 51 años, ya terminó su etapa productiva. Con las variables obtenidas en el inventario se generaron las variables área basal, volumen total, biomasa de fuste, biomasa de ramas, biomasa total, carbono en fuste, carbono en ramas y carbono total del árbol para determinar el carbono almacenado en la parte aérea de cada una de las edades de las plantaciones (5, 9, 15, 25, 32 y 51).

Las mediciones que se realizaron en los árboles fueron a partir del diámetro mínimo a la altura de pecho de 8 cm, debido a que a partir de este diámetro se obtienen algunos de los productos de *Hevea brasiliensis* como: muebles, molduras, mosaicos de madera, entarimado de pisos, contrachapado, tableros enlistonados, aglomerados de cemento, tablero de fibra de densidad media, estacas, polines y postes. También este diámetro se utiliza como materia prima para la industria del papel (papeles gruesos y secantes o absorbentes) (Zerpa *et al.*, 2007).

Biomasa aérea (fuste y ramas)

Para la cuantificación de carbono almacenado, es necesario analizar la cantidad de carbono en distintos componentes que integra un árbol o ecosistema y la transferencia de carbono entre ellos en el tiempo y el espacio, lo cual, implica analizar conjuntamente la dinámica del carbono de un árbol o vegetación (hojas, ramas y fuste) (Ordoñez *et al.*, 2001). Para obtener la cuantificación de carbono almacenado en la biomasa aérea en las plantaciones de *H. brasiliensis*, se utilizó la ecuación o modelo de regresión lineal, generada para plantaciones de *H. brasiliensis* en Veracruz, México, por Monroy y Návar (2004). Las ecuaciones aplicadas son:

$$B_{\text{fuste}} = 37.35705 + 0.013422 d^2h$$

$$B_{\text{ramas}} = 29.99596 + 0.004273 d h$$

$$B_{\text{TOTAL}} = 67.35301 + 0.017695 d^2h$$

Donde: D (Diámetro en cm), H (Altura en m)

Ecuación: Regresión lineal para biomasa (B) de *Hevea brasiliensis*.

Para estimar el carbono almacenado asociado a la biomasa aérea, se multiplicó cada componente (fuste, ramas y total) por el factor 0.487, valor correspondiente a las estimaciones experimentales realizadas para esta especie de *H. brasiliensis* (Wauters *et al.*, 2008; Kongsager *et al.*, 2013;).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de cada variable y la aplicación de la ecuación de biomasa (Monroy y Návar), se analizaron con un diseño completamente al azar. Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con el programa Statistical Analysis Sistem (SAS) para determinar si hay diferencias significativas en las plantaciones de diversas edades.

RESULTADOS

Con base en los resultados de las encuestas se obtuvo que los productores cambiaron el uso de sus tierras por el cultivo de *H. brasiliensis*, debido a un programa del gobierno federal de fidecomiso del hule (FIDHULE), quienes les proporcionaron las plantas de manera gratuita, un apoyo económico para el establecimiento y manejo silvícola. Después de establecer la planta en su terrenos, los productores asociaron cultivos agrícolas en la etapa preproductiva (tres años) para adquirir ingresos económicos mientras los árboles de *H. brasiliensis* alcanzaban un perímetro de 45 cm a 1.30 de altura para ser aprovechado como látex. Esta asociación de cultivos agrícolas contribuye a reducir la erosión del suelo, aportar nutrientes y controlar malezas. Simultáneamente se realiza el manejo silvícola de las plantaciones (poda de formación para obtener un fuste limpio para ser aprovechado). Esta actividad se realizó en los primeros años hasta el cierre de dosel arbóreo que se da a partir de los 5 años en adelante (Tabla 2).

Tabla 2. Antecedentes, asociación de cultivos en callejones y densidad actual de las plantaciones de *H. brasiliensis* en Tabasco.

| Año de establecimiento | Edad de la plantación (años) | Vegetación anterior a <i>H. brasiliensis</i> | Densidad actual de la plantación (árboles.ha ⁻¹) | Cultivo intercalado en los tres primeros años | Apoyo económico |
|------------------------|------------------------------|--|--|---|---------------------------|
| 2009 | 5 | Pastizal | 491 | Piña (<i>Anana sp.</i>) | |
| 2005 | 9 | Pastizal | 550 | Piña (<i>Anana sp.</i>) | |
| 1999 | 15 | Acahual | 700 | Piña (<i>Anana sp.</i>) | |
| 1989 | 25 | Acahual | 633 | Maíz (<i>Zea mays</i>), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y yuca (<i>Manihot sculenta</i>) | Planta y manejo silvícola |
| 1982 | 32 | Pastizal | 558 | Maíz (<i>Zea mays</i>), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) | Planta y manejo silvícola |
| 1963 | 51 | Acahual y Pastizal | 400 | Maíz (<i>Zea mays</i>) | Planta y manejo silvícola |

Inventario forestal

Con respecto a la medición de las variables realizada en el inventario forestal de las plantaciones de *H. brasiliensis* se presenta lo siguiente:

Diámetro (d) y altura de los árboles (h)

El análisis de varianza, mostró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) en el diámetro y altura en cada plantación de diferentes edades (5, 9, 15, 25, 32 y 51 años), con una probabilidad de $\alpha = 0.05$. La comparación de medias de Tukey mostró que el diámetro de la plantación de 15 y 51 años de edad, son diferentes significativamente a las otras plantaciones.

De la plantación de 5-9 años de edad, se presenta un incremento de 2 cm de diámetro, en 4 años, indicando que no hay diferencia estadística; sin embargo, entre la plantación de 9 y la de 15 años de edad, hay un incremento de diámetro de 8.6 cm, con diferencia significativa estadísticamente. Asimismo, de la plantación de 15 a 25 años de edad, se presenta un incremento de 2.08 cm; aún cuando hay una diferencia de 10 años entre las dos edades, el incremento es relativamente pequeño y estadísticamente no hay diferencias, en el diámetro y en la densidad actual de la plantación (633 y 700 árboles.ha⁻¹). De la misma manera, de la plantación de 25 a 32 años de edad se presenta un incremento de 5.58 cm, sin diferencias significativas. No obstante, la plantación de 32 a 51 años de edad presenta un incremento de 15.12 cm, en un lapso de tiempo de 19 años, presentando diferencia altamente significativa, probablemente favorecido por la densidad actual de 400 árboles.ha⁻¹ (51 años) y 558 árboles.ha⁻¹ (32 años).

La altura total de los árboles mostró diferencia significativa en las edades de 9 y 15 años de edad con un incremento en 8 m; sin embargo la mayor altura total de los árboles se observa en la plantación de 15 a 51 años de edad sin mostrar diferencia significativa (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias, diámetro, altura, área basal *H. brasiliensis*, en Huimanguillo, Tabasco, México.

| Edad (Años) | \bar{d} (cm) | \bar{h} (m) | G (m ² .ha ⁻¹) |
|----------------|-------------------|------------------|--|
| 5 | 14.05 a | 11.33 a | 7.88 a |
| 9 | 16.05 a | 13.39 a | 11.81 a |
| 15 | 24.65 b | 21.41 b | 35.12 b |
| 25 | 26.73 bc | 22.99 b | 39.42 b |
| 32 | 32.31 c | 23.26 b | 49.60 b |
| 51 | 47.43 d | 24.22 b | 80.41 c |

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

En la comparación de medias por Tukey de la plantación de 51 años se observa la máxima área basal con un valor de 80.41 m².ha⁻¹, indicando una diferencia altamente significativa con cada una de las plantaciones (5, 9, 15, 25 y 32 años de edad). El área basal presentó diferencias estadísticas similares al diámetro, ya que es una variable que depende directamente de él, siendo influenciada también por la edad y por el manejo silvícola. Al mismo tiempo, mostró incrementos de 3.91 m².ha⁻¹, 23.31, 4.3 m².ha⁻¹, 10.18 m².ha⁻¹, 30.81 m².ha⁻¹, entre edades de plantación de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años, respectivamente.

Volumen de madera en los árboles

El volumen de madera en los árboles en relación a la edad de las plantaciones presentó diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) con una probabilidad

($\alpha=0.05$) en el análisis de varianza. El coeficiente de determinación fue de $R^2=0.94$ (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza de volumen de madera en plantaciones de diversas edades de *H. brasiliensis*.

| FV | GL | SC | CM | FC | Pr>F |
|-----------------|----|------------|------------|-------|--------|
| Modelo | 5 | 1395001.41 | 279000.281 | 40.33 | <.0001 |
| Error | 12 | 83022.750 | 6918.562 | | |
| Total | 17 | 1478024.16 | | | |
| C.V. = 23.73403 | | | | | |

En la prueba de comparación de medias por Tukey, se obtuvo diferencia estadística significativa en la plantación de 51 años con un valor promedio de 865 $m^3 \cdot ha^{-1}$ de volumen maderable (Figura 2). Asimismo, se observó que de la plantación de 32 años con la de 51 años de edad hay una diferencia de 396 $m^3 \cdot ha^{-1}$ en 19 años. Al mismo tiempo, se observó una diferencia de 239 $m^3 \cdot ha^{-1}$ entre las plantaciones de 9 y 15 años de edad altamente significativa con un $p < 0.0001$.

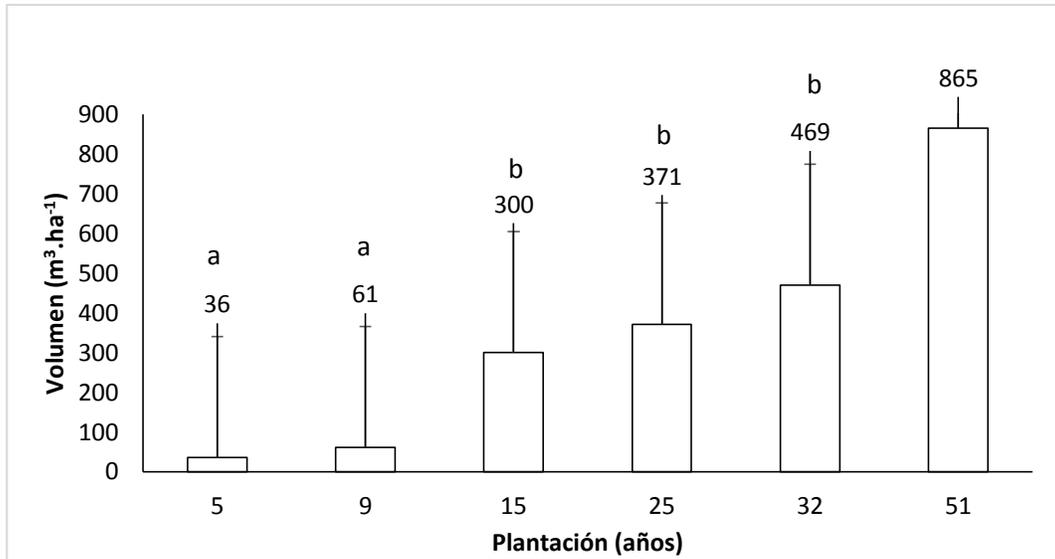


Figura 2. Comparación de medias de volumen de madera ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) en plantaciones de diversas edades de *H. brasilienses*, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Biomasa de fuste, ramas y total en los árboles

En la tabla 5, la plantación de 51 años de edad presenta mayor biomasa de fuste, ramas y biomasa total aérea que las demás plantaciones por el desarrollo que adquirió durante su ciclo de crecimiento (diámetro, altura) en la edad.

Tabla 5. Comparación de medias por Tukey, biomasa de fustes, ramas y total de la parte aérea y carbono para *H. brasiliensis*, en Huimanguillo, Tabasco, México.

| Edad (años) | Biomasa de fuste (t.ha ⁻¹) | Biomasa de ramas (t.ha ⁻¹) | Biomasa total aérea (t.ha ⁻¹) | Carbono fuste (Mg/ha ⁻¹) | Carbono de ramas (Mg/ha ⁻¹) | Carbono total aéreo (Mg/ha ⁻¹) |
|-------------|--|--|---|--------------------------------------|---|--|
| 5 | 34.18 | 19.78 | 53.96 | 16.65 a | 9.63 a | 26.28 a |
| 9 | 48.50 | 25.39 | 73.50 | 23.62 a | 12.37 a | 35.79 a |
| 15 | 159.48 | 63.44 | 222.93 | 77.67 b | 30.89 b | 108.57 b |
| 25 | 180.51 | 68.93 | 249.44 | 87.91 b | 33.57 b | 121.48 b |
| 32 | 228.01 | 82.70 | 310.71 | 111.04 b | 40.27 b | 151.32 b |
| 51 | 394.91 | 132.96 | 527.87 | 192.32 c | 64.75 c | 257.07 c |

Medias con letra distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Estimación de carbono almacenado en las plantaciones

La tabla de análisis de varianza, mostró diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) en el carbono almacenado en cada uno de los componentes del árbol (fuste, ramas y total de la parte aérea) y en cada etapa: preproductiva, juventud (9 años), adulto (15 y 25 años) y vejez (32 y 51 años), con una probabilidad de $\alpha = 0.05$, tal como se observa en la tabla 6.

En la prueba de Tukey, de carbono almacenado de cada componente del árbol (fuste, ramas y total de la parte aérea) (Tabla 5), resultó que en la plantación de la etapa vejez de 51 años de edad mostró diferencia altamente significativa

($P \leq 0.0001$) respecto a las plantaciones de 5, 9, 15, 25 y 32 años de edad. El carbono almacenado de cada componente del árbol en la plantación de 51 años (etapa vejez) es 197.45 Mg.ha (en el fuste), 66.48 Mg.ha (en las ramas) y 263.93 Mg.ha (total de la parte aérea), Asimismo, las plantaciones de 32 y 51 años (etapa vejez) mostraron una diferencia estadística de carbono almacenado en cada uno de los componentes del árbol de 81.28 Mg.ha⁻¹ en el fuste, ramas 24.48 Mg.ha⁻¹ y un total en la parte aérea de 105.75 Mg.ha⁻¹.

Por otra parte, el carbono almacenado en fuste, ramas y total aéreo no presenta diferencia estadística entre las plantaciones de 5 y 9 años. Las plantaciones de este estudio en ese rango de edades obtuvieron valores altos (72.8 Mg.ha⁻¹), debido a la mayor densidad de arbolado encontrado en Tabasco.

Entre las plantaciones de 15, 25 y 32 años de edad no se presenta diferencia estadística en cada uno de los componentes del árbol (fuste, ramas y carbono total aéreo), debido a la cercanía de edades (Tabla 5).

Tabla 6. Análisis de varianza de almacenamiento de carbono de fuste, ramas y total de la parte aérea de *H. brasiliensis*.

| FV | GL | SC | CM | FC | Pr>F |
|-----------------|----|------------|-------------|-------|--------|
| Modelo | 5 | 65452.2213 | 13090.44426 | 37.05 | <.0001 |
| Error | 12 | 4240.16667 | 353.34722 | | |
| Total | 17 | 69692.388 | | | |
| C.V. = 21.57343 | | | | | |

| FV | GL | SC | CM | FC | Pr>F |
|-----------------|----|------------|------------|-------|--------|
| Modelo | 5 | 6420.27045 | 1284.05409 | 34.4 | <.0001 |
| Error | 12 | 447.92440 | 37.327033 | | |
| Total | 17 | 6868.19485 | | | |
| C.V.= 18.64479 | | | | | |
| FV | GL | SC | CM | FC | Pr>F |
| Modelo | 5 | 112932.067 | 22586.4134 | 36.44 | <.0001 |
| Error | 12 | 7437.8783 | 619.8232 | | |
| Total | 17 | 120369.946 | | | |
| C.V. = 20.76957 | | | | | |

DISCUSIÓN

La densidad actual de las plantaciones está influida por la asociación de cultivos agrícolas que los productores intercalaron en la etapa preproductiva, lo cual favorece a las plantaciones con menor densidad, en obtener mayor desarrollo en el diámetro aunque la disminución de árboles a partir de la densidad inicial de establecimiento también depende de los daños mecánicos, y del raleo natural de estas plantaciones (Reza *et al.*, 2012b). En la etapa preproductiva se realizó un manejo silvícola (podas de ramas primarias) a partir de 3 a 4 años de edad para obtener un fuste libre de nudos.

La plantación de 32 a 51 años de edad registró un incremento de diámetro 15.12 cm, en un lapso de tiempo de 19 años, presentando diferencia altamente significativa, probablemente favorecido por la densidad actual 400 árboles.ha⁻¹ (51

años) y 558 árboles .ha⁻¹ (32 años), lo cual indica que los árboles de la plantación de 51 años se desarrollaron mejor por la vejez que presentaron. Por esta razón, los árboles obtienen mayor fijación fotosintética, agua y nutrimentos lo que les permite tener un mejor desarrollo durante su crecimiento (Reza *et al.*, 2011a).

La biomasa de fuste 70.2% y ramas de 29.83% (árboles de 5, 9, 15, 25, 32 y 51 años), mostró similitud con valores reportados por Monroy y Návar (2004), donde obtienen un promedio de 72.83% y 21.4%, respectivamente en árboles de 8,14, 16, 19, 23 y 31 años, y presenta diferencia significativa con respecto al fuste y ramas gradualmente conforme aumenta la edad (Gayoso y Guerra, 2005; Aguilar *et al.*, 2011).

El carbono almacenado de cada componente del árbol en la plantación de 51 años (etapa vejez) es 197.45 Mg.ha (en el fuste), 66.48 Mg.ha (en las ramas) y 263.93 Mg.ha (total de la parte aérea), este último valor se asemeja al reportado por Kongsager *et al.* (2013) en árboles de 44 años (213.6 Mg.ha), sin embargo al compararlos con un bosque tropical subcaducifolio (árboles, arbustos, renuevos, necromasa, hojarasca y raíces), selva mediana, *E. urophylla*, *G. arborea* y sabana de *Quercus oleoides* son inferiores que las plantaciones de 51 años de edad de *H. brasiliensis*, ya que la especie, edad, densidad, diámetro y altura están en función del almacenamiento de carbono (Rodríguez *et al.*, 2008; Cámara *et al.*, 2013).

Por otra parte, el carbono almacenado en fuste, ramas y total aéreo no presenta diferencia estadística entre las plantaciones de 5 y 9 años. Sin embargo, el valor de carbono total de la plantación de 5 años es alto al compararlo con los reportados por Durán *et al.* (2011), el cual obtuvo un promedio de 6.6 Mg.ha⁻¹ de carbono

almacenado en la parte aérea en plantaciones de hule de 1 a 7 años, con diámetro de 8.2 cm y altura de 6.2 m en Colombia; y en un sistema agroforestal con árboles del mismo rango de edad, obtuvo un promedio de 6.9 Mg.ha⁻¹. En plantaciones de *H. brasilienses* de 1-7 años de edad, Orjuela *et al.* (2014), obtuvieron promedio de carbono almacenado total de la parte aérea de 4.3 Mg.ha⁻¹ en monocultivo con una densidad de 622 árboles.ha⁻¹ y en un sistema agroforestal de 4.2 Mg.ha⁻¹ con una densidad de 673 árboles.ha⁻¹; mientras que en este estudio se obtuvo un promedio de carbono total de la parte aérea de 26.28 Mg.ha⁻¹ con diámetro de 14.05 cm y altura de 11.3 m. El mismo autor trabajó con plantaciones de *H. brasiliensis* de 8-20 años de edad y obtuvo un promedio de 57.2 Mg.ha⁻¹ en monocultivo y en sistemas agroforestales de 44.8 Mg.ha⁻¹ de carbono almacenado total de la parte aérea, sin embargo, al compararlo con las plantaciones de este estudio, en ese rango de edades, se obtuvo un valor más alto (72.8 Mg.ha⁻¹), debido a la mayor densidad de arbolado encontrado en Tabasco. Cabe señalar que la fijación de carbono depende de las características de cada especie, tamaño de copa, densidad árboles por hectárea, edad y índice de sitio, que influyen fuertemente en el almacenamiento de carbono (Nájera y Hernández, 2008).

Orjuela *et al.*, (2014) menciona que las plantaciones mayores de 20 años de edad obtuvieron un promedio de 121.5 Mg.ha⁻¹ en monocultivo y 97.2 Mg.ha⁻¹ en sistemas agroforestales, aun comparando las plantaciones en ese rango mayor de 25 años de edad, en este estudio se obtuvieron valores altos, con un promedio de 176.62 Mg.ha⁻¹. El carbono almacenado en los árboles está proporcionalmente relacionado con la biomasa.

De acuerdo a los resultados de carbono almacenado se observa que los árboles de la etapa “juventud” (edad) fijan más carbono a través del proceso fotosintético que realiza y requiere el árbol para su crecimiento o desarrollo de su ciclo vital (Sun *et al.*, 2015). Por esta razón, los árboles en la etapa joven contribuyen a la reducción del dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera y lo transforman en biomasa (Casanova *et al.*, 2011). El cultivo de *H. brasiliensis* contribuye a la reducción de dióxido de carbono a través de la fotosíntesis y lo fija o almacena en cada uno de los componentes del árbol (fuste y ramas), obteniendo un mayor almacenamiento en el fuste (madera) (Wauters *et al.*, 2008; Fonseca y Rey., 2011; Casanova *et al.*, 2011; Omi *et al.*, 2013).

Los árboles en la etapa de vejez (32 y 51 años de edad) son individuos que proporcionan una serie de beneficios tanto para el ser humano como para el medio ambiente, como alimento, conservación de flora y fauna, disminución de erosión de suelo y fertilización del mismo a través de la hojarasca. En esta etapa los productores toman la decisión de aprovechar la madera de los árboles mayores de 35 años de edad, debido a la disminución de producción de látex, ya que no es rentable seguir aprovechándolo para esa actividad, ya que por los servicios ambientales no perciben ningún apoyo económico (Matan y Matan, 2008; Prabhakaran, 2010).

CONCLUSIÓN

La plantación de 51 años de edad de *H. brasiliensis* almacena mayor carbono que las plantaciones de menor edad, esto está relacionado con la mayor biomasa. La

comparación de medias manifestó que el fuste concentra más carbono almacenado que las ramas. La especie de *H. brasiliensis* almacena más carbono que el bosque tropical subcaducifolio, selva mediana, *G. melina* y *Quercus oloides*; La estimación de carbono brinda un servicio ambiental, ya que cuenta con un potencial para mitigar el CO₂ de la atmósfera y fortalecer la conservación de flora y fauna de dicha plantación.

REFERENCIAS

- Aguilar A., H., E. Ortiz M., B. Vílchez A., R. L. Chazdon. 2011. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadios de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9 (22), 22-3. Obtenido de <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/360>.
- Ajit, S. K. Dhyan, Ramnewaj, A. K. Handa, R. Prasad, A. Badre., R. H. Rizvi, G. Gupta, K. K. Pandey, A. Jain, Uma. 2013. Modeling analysis of potential carbon sequestration under existing agroforestry systems in three districts of Indo-gangetic plains in India. *Agroforest Syst*, 87, 1129–1146. DOI: 10.1007/s10457-013-9625-x.
- Álamo J., J. C. 2007. Bosques y cambio climático: la función de los bosques como sumideros de carbono y su contribución al cumplimiento del Protocolo de Kioto por parte de España. Escuela Agraria de Cogullada (Zaragoza).
- Cámara C., L. del C., C. Arias M., J. L. Martínez S., O. Castillo A. 2013. Carbono almacenado en selva mediana de *Quercus oleoides* y plantaciones de *Eucaliptus urophylla* y *Gmelina arbórea* en Huimanguillo, Tabasco. 257-264.

- Casanova L., F., J. Petit A., J. Solorio S. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 5-118. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047
- CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del agua- Servicio Meteorológico Nacional). 2010. Disponible en línea: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=168&tmpl=component. Consultada el 25 de febrero de 2015.
- Durán B., E. H., L. Duque C., J. C. Suárez S. 2011. Estimación de carbono en sistemas agroforestales de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. *Revista Ingenierías & Amazonia*, 4(1), 19-26.
- Fonseca A. W., J. M. Rey B., F. E. Alice C. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262, 1400-1408. doi:10.1016/j.foreco.2011.06.036.
- Gayoso J, J., J.Guerra R. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosques*, 26 (2), 33-38.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geoestadística y geografía). 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Huimanguillo, Tabasco.
- Kongsager, R., J. Napier, O. Mertz. 2013. The carbon sequestration potential of tree crop plantations. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 18, 1197–1213. DOI: 10.1007/s11027-012-9417-z.

- Matan, M., N. Matan. 2008. Antifungal activities of anise oil, lime oil, and tangerine oil against molds on rubber wood (*Hevea brasiliensis*). *International Biodeterioration y Biodegradation*, 62, 75-78.
- 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. Obtenido de <http://www.ksre.ksu.edu/boo- kstore/pubs/MF2548S.pdf>.
- Monroy R., C., J. J. Návar C. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., Veracruz, México. *Madera y bosques*, 10 (2), 29-43.
- Moreno G., J. A., J. Burgos S. J. H. E. Nieves O., C. Buitrago S., C. 2005. Modelo alométrico general para la estimación del secuestro de carbono por plantaciones de caucho *Hevea brasiliensis* Mull Arg. En Colombia. *Colombia Forestal*, 91(8), 5-21. Obtenido de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3043/4397>.
- Nájera L., J. A., E. Hernández H. (2008). Relaciones morfométricas de un bosque coetáneo de la región de Salto de Durango. *Ra Ximhai*, 4(1), 6-81.
- Ordoñez, J. A., B. H. J. de Jong., O. Maser. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinuspseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. Vol. 7 (2). 27-47.
- Orjuela C., J. A., H. J. Andrade C. y Y. Vargas V. 2014. Potential of carbon storage of rubber (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) plantations in monoculture and agroforestry systems in the Colombian Amazon. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 231–240.

- Ortiz, P. M. A., C. Siebe y S. Kram. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap. 14:305-322. *En*: Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco, 386 p. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. ISBN 970-9000-26-8. 305- 316 p.
- Pacheco-Escalona, F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. M. Fierros G., V. M. Cetina A., H. Vaquera H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven en *Pinus greggii* Engelm, México. *Fitotecnia Mexicana*, 30 (3). 251-254.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.a. Rincón R.. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Tabasco, México. Fundación produce, Volumen 1 tercera edición, 213 p.
- Percy, K. E., R. Jandl, J. Hall, P., M. Lavigne. 2003. El papel de los bosques en ciclo, la El papel de los bosques en ciclo, la captura y el almacenamiento de carbono.
- Prabhakaran N., K. P. 2010. Rubber (*Hevea brasiliensis*). The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World. 237-273.
- Reza, N. H., M. Hamami S, T. Nobuchi y E. Suhaimi B. 2012b. Clonal and planting density effects on some properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). "Rubber tree planting density," *BioResources*, 7 (1), 189-202.
- Reza, N. H., M. Hamami S., T. Nobuchi y E. Suhaimi B. 2011a. The effect of growth rate on wood density and anatomical characteristics of Rubber wood (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) in two different clonal trails. *J. Nat. Prod. Plant Resour*, 1(2): 71-80.

- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez P., J. Meza R., O. Aguirre C. y R. Razo Z. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4 (2):215 -222.
- Rojo M, G. E., R. Martínez R, J. Jaso M. 2011. El cultivo del hule en México. México: Universidad Autónoma Indígena de México-Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo Programa de Forestal. Obtenido de <http://www.uaim.mx/Documentos/CultivoDelHule.pdf>.
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). 2013. Sector presupuestal: agricultura ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultado el 18 de abril 2015.
- Somarriba, E., R. Cerda, L. Orozco, M. Cifuentes, H. Dávila, T. Espin, H. Mavisoya, G. Ávila, E. Alvarado, V. Poveda, C. Astorga, E. Say, O. Deheuvels. 2013. Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 173, 46– 57. [doi:10.1016/j.agee.2013.04.013](https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.013).
- Sun, J., D. Guan, J. Wu, Y. Jing, F. Yuan, A. Wang, C. Jin. 2015. Day and night respiration of three tree species in a temperate forest of northeastern China. *Forest – Biogeosciences and Forestry*, 8, 25-32. doi: 10.3832/ifor0982-007.
- Wauters, J. B., S. Coudert, S., E. Grallien, M. Jonard, Q Ponette. 2008. Carbon stock in rubber tree plantations in western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management*, 255, 2347-2361. doi:10.1016/j.foreco.2007.12.038.

Zavala-Cruz, J., S. Salgado, G., A. Marín, A., D. J. Palma-López, M. Castelán, E.,
R. Ramos, R. 2014. Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de
cítricos en Tabasco.

Zerpa, J., G. Mogollón, I. Gutiérrez, A. Aguilera. (2007). Potencial papelero de
clones de *Hevea brasiliensis* procedentes del Estado Amazonas, Venezuela.
Revista Forestal Venezolana, 51 (1), 69-76.

**VII: ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO, EN
PLANTACIONES DE *Hevea brasiliensis* EN HUIMANGUILLO, TABASCO**

ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO, EN PLANTACIONES DE *Hevea brasiliensis* EN HUIMANGUILLO, TABASCO

RESUMEN

El presente estudio se realizó en plantaciones de *Hevea brasiliensis*, con el objetivo de estimar el carbono almacenado en cada plantación a diversas profundidades. Se describieron perfiles de suelo en seis plantaciones y se hicieron 27 barrenaciones en cada plantación para obtener una muestra compuesta y realizar los análisis físico-químicos en el laboratorio. Para determinar el carbono almacenado se utilizó la materia orgánica y la densidad aparente y se empleó el factor de Van Benmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de carbono. Se obtuvo análisis de varianza y comparaciones de medias por Tukey, con el programa Statistical Analysis System (SAS). Se encontró mayor carbono almacenado en el suelo Acrisol Cutánico Úmbrico, en la profundidad inferior de la plantación de 25 años ($178.48 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y en el suelo Acrisol Cutánico tiene un carbono almacenado de ($33.17 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la plantación de 51 años. Asimismo, el mayor almacén total de carbono se encontró en la plantación de 25 años por la unidad de suelo. Las diferencias encontradas en el almacenamiento se dan por la pendiente y lixiviación por la erosión hídrica lenta.

Palabras claves: Carbono orgánico, suelo, Acrisol, *H. brasilienses*.

ABSTRAC

This study was conducted in plantations of *Hevea brasiliensis*, in order to estimate the carbon stored in each plantation at different depths. Soil profiles was performed in six plantations and 27 drillings were made in each plantation for a composite sample for analysis in laboratory. To determine the carbon stored organic matter was used and the factor of Van Benmelen 1,724 resulting from the assumption that soil organic matter contains 58% carbon was used. Subsequently, an analysis of variance and comparison of means by Tukey, with the Statistical Analysis Sistem (SAS) program is obtained. The results were analyzed in a completely randomized design and comparison of means by Tukey. The analysis showed that the planting of 25 years earned a high value of 178.47 Mg.ha⁻¹ (0-30cm) and 176.57 Mg.ha⁻¹ (30-60), while planting of 51 years old presented a minimum value as other plantations.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es problema mundial de gran importancia, debido al cambio significativo y duradero de los patrones locales y globales del clima, causados por diferentes actividades humanas que provocan perturbación negativa en los procesos ecológicos, económicos y sociales. Ante esta situación, los científicos se han concentrado en investigar sobre el potencial de fijación y almacenamiento de carbono de varios ecosistemas terrestres; como los sistemas agrícolas, forestales, humedales y suelo (Mesera *et al.* 2000; Ibrahim *et al.*, 2007).

El suelo es un elemento de gran importancia para los seres vivos, ya que brinda un medio adecuado para el desarrollo de las plantas, almacena y regula el abasto de agua, almacena carbono y lo puede retener por largos periodos de tiempo (Robert, 2002). Cabe mencionar que el carbono orgánico en los suelos naturales representa un balance dinámico entre la transformación de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). Además, el suelo actúa como reservorio de almacenamiento de CO₂, y se produce a partir de la estabilización del carbono orgánico en el suelo mediante la agregación del suelo órgano-mineral y formación de complejos al carbono orgánico. Sin embargo, las cantidades y características de las fracciones en el suelo varían dependiendo de las características físico-químicas, los procesos biológicos, la ubicación geográfica, el clima y las prácticas de manejo del suelo (FAO, 2000; Chaudhuri *et al.* 2013).

Las plantaciones de *H. brasiliensis* desempeñan un papel importante en la mitigación de dióxido de carbono de la atmósfera, a través del proceso de la fotosíntesis para fijarlo y almacenarlo en cada uno de sus componentes y en el suelo a través de la acumulación de la hojarasca y de la transformación de hojarasca, ramas y raíces muertas en materia orgánica. Además de proporcionar ingreso económico a muchas familias por el aprovechamiento industrial de látex y la madera al final del turno productivo, contribuyen a la conservación de flora y fauna y a la mitigación de CO₂ abriendo la posibilidad de la comercialización de servicios ambientales (Moreno, 2005; MAVDT, 2010). Por esta razón, se realizó la investigación con la finalidad de cuantificar el carbono almacenado en el suelo de las plantaciones para implementar un incentivo económico como pago por servicio ambiental para fijación o almacenamiento de carbono (Duran *et al.*, 2011).

OBJETIVO

El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar el carbono almacenado en un Acrisol con en plantaciones de diversas edades de *Hevea brasiliensis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en seis plantaciones de *H. brasiliensis*, ubicadas en tres ejidos del municipio de Huimanguillo, Tabasco, México. Las plantaciones de 5, 9, 15 y 25 años pertenecen al ejido Pedregal Moctezuma 1ra. Sección, ubicadas en la zona geográfica 15, en las coordenadas UTM: longitud y latitud; 433614 - 1953399, 433935 - 195299, 433551 - 1953473, y 433942 - 1953473, respectivamente. La plantación de 32 años, se localiza en el ejido de Chicoacán, con coordenadas UTM: longitud 447299 y latitud 1965282; y la plantación de 51 años, pertenece al ejido de Guadalupe Victoria, con coordenadas; Longitud 426988 y latitud 1950044 (Figura 3). Los climas que predominan en el municipio de Huimanguillo son: Af (m) cálido húmedo con lluvias todo el año y Am (f) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (INEGI, 2010). La temperatura promedio del mes más frío es de 23.3 °C y la del mes más cálido es de 32.3 °C y la precipitación promedio anual es 2,360 mm (CONAGUA-SMN, 2010).

Según Ortiz *et al.* (2005), la zona de estudio corresponde a la unidad ecogeográfica “terrazza o planicies estructurales” de edad miocénica, que conforma un paisaje de

lomeríos suaves. El suelo que predomina en este lugar es del grupo Acrisol (Zavala-Cruz *et al.*, 2014).

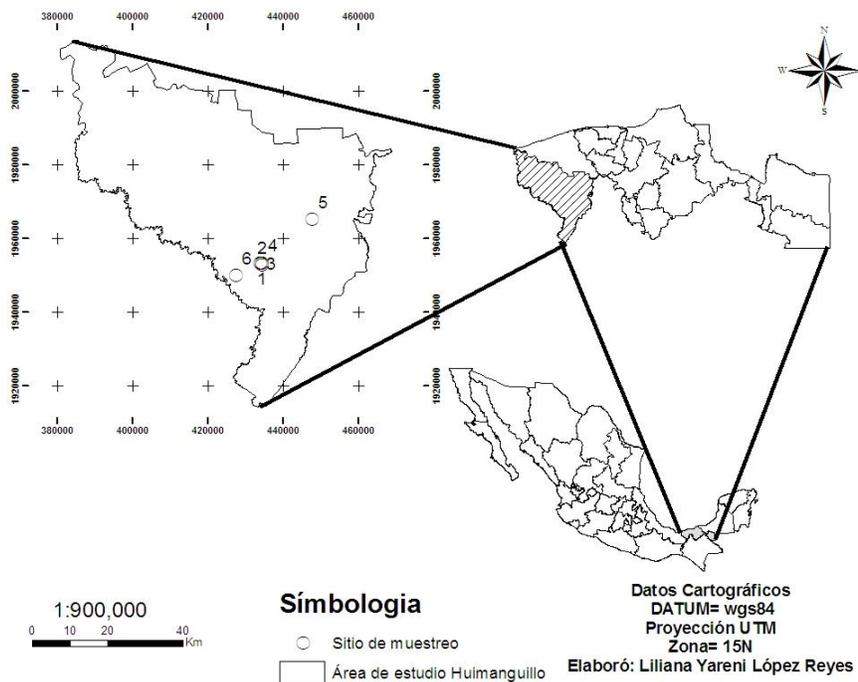


Figura 3. Ubicación geográfica de las plantaciones de *H. brasiliensis*.

Descripción del estudio

Para realizar el estudio se utilizó el padrón de productores de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca (SEDAFOP) y Sistema Producto Hule; asimismo, se efectuó la preselección de las plantaciones, acorde a la etapa preproductiva y de productividad conforme a las edades de los árboles, también se consideró que todas las plantaciones estuvieran localizadas en el mismo grupo de suelos para evitar la variación por heterogeneidad de las propiedades físicas y

químicas en los resultados. Posteriormente, se realizó el recorrido en campo para localizar a los productores y seleccionar las plantaciones de *H. brasiliensis*.

Tabla 7. Edades de los árboles de acuerdo a la etapa preproductiva y productiva de los árboles.

| Edad e árboles (años) | Etapas preproductiva y productiva |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 5 | Crecimiento |
| 9 | Juventud |
| 15 | Adulto 1 |
| 25 | Adulto 2 |
| 32 | Vejez 1 |
| 51 | Vejez 2 |

Se aplicó una entrevista semiestructurada dirigida, por productor y por plantación para conocer los antecedentes de los predios y el manejo silvícola de las plantaciones. Los criterios que se aplicaron para la selección de las plantaciones de *H. brasiliensis*, fueron conforme a la etapa preproductiva y la productiva que comprende tres periodos en la vida del árbol de hule (Tabla 7).

Descripción, caracterización y clasificación de los suelos de las plantaciones

El relieve de las plantaciones es lomerío ligeramente inclinado y lomerío inclinado, con una pendiente de 1 a 3% (5, 9, 15, 25 y 32 años de edad) a 15 % la más abrupta (51 años de edad).

Descripción morfológica: En cada plantación se excavó un pozo pedológico hasta 1.50 m de profundidad. Posteriormente, se procedió a registrar las características del perfil: sitio, drenaje superficial, relieve, pendiente, vegetación y cultivo actual y por horizonte en seco y en humedad en condiciones de campo, color, textura, consistencia, estructura, rasgos de actividad biológica, arreglo de poros, concentraciones pedogenéticas (moteados, cutanes, nódulos) y permeabilidad de acuerdo a Cuanalo (1990). También se colectaron muestras de 1.5 kg de suelo de cada horizonte y se depositaron en una bolsa de polietileno con su respectiva identificación y se llevaron al laboratorio de suelo.

Análisis químicos y físicos: Las muestras colectadas se secaron al aire, a la sombra y se tamizaron a través de una malla de 2 mm. Los análisis químicos realizados fueron pH, materia orgánica (MO), bases intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), acidez, capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura, saturación de bases (PSB), Al, Fe y Mn intercambiable, de acuerdo a las especificaciones técnicas de muestreo y clasificación de suelos que marca la Norma oficial mexicana NoM-021-RECNAT-2000 (2002).

Clasificación: La clasificación de suelos se hizo acorde a la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007).

Muestreo de parcelas

En cada edad se establecieron tres parcelas cuadradas de 20 x 20 m², las cuales se seleccionaron de manera al azar obteniendo un total de 18 parcelas. En cada parcela se realizaron 9 barrenaciones para dos profundidades (0-30 y 30-60 cm), obtenidas por el muestreo en zig zag a lo largo de la línea de la unidad de muestreo, con un total de 54 barrenaciones y 3 muestras compuestas por profundidad (de 0-30 cm y 30- 60 cm), con un total de 6 muestras compuestas por cada plantación (Tabla 8).

Las muestras compuestas se obtuvieron a partir de las submuestras que fueron extraídas con la barrena con un mismo volumen de suelo, posteriormente el suelo se homogeneizó y se obtuvo una muestra final de 1.5 kg. La densidad aparente se obtuvo de dos perfiles de suelo de 30 x 60 cm por parcela por el método del cilindro, obteniendo una muestra a una profundidad de 0-30 cm y otra a 30-60 cm en cada perfil, con un total de 2 muestras por parcela (Tabla 8). Posteriormente, las muestras se llevaron al laboratorio para determinar los análisis de pH, M.O, nitrógeno total, CIC y textura (0-30 cm), y pH y M.O. (30-60 cm).

Tabla 8. Determinación de carbono almacenado y densidad aparente.

| Edad de la plantación (años) | Determinación de carbono | | | | Densidad aparente | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---|--|--------------------------------|
| | Parcelas de muestreo | Profundidad de las muestras en campo | Submuestras extraídas en campo | Agrupación de submuestras para el laboratorio | Muestras para densidad aparente en campo | Submuestras extraídas en campo |
| 5, 9, 15,25, 32 y 51 | 1 | 0-30 | 9 | 1 | 0-30 | 2 |
| | | 30-60 | 9 | 1 | 30-60 | 2 |
| | 2 | 0-30 | 9 | 1 | 0-30 | 2 |
| | | 30-60 | 9 | 1 | 30-60 | 2 |
| | 3 | 0-30 | 9 | 1 | 0-30 | 2 |
| | | 30-60 | 9 | 1 | 30-60 | 2 |

El contenido de carbono orgánico total (COS) del suelo se estimó a partir de la materia orgánica del suelo (MO). Posteriormente, la estimación del carbono orgánico total se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\% C = \% MO/1.724,$$

Donde:

CO = Carbono orgánico total (%),

MO = Materia orgánica (%).

Se empleó el factor de Van Benmelen de 1.724 que resulta de la suposición de que la materia orgánica del suelo contiene un 58% de Carbono ($1/0.58 = 1.724$) (Ibrahim *et al.*, 2007).

Para la determinación de carbono almacenado se llevó a cabo por la siguiente fórmula (González *et al.*, 2008):

$$C = CO\% \times Da \times Pr$$

Donde:

C= carbono almacenado,

CO% = porcentaje de carbono en el suelo,

Da= densidad aparente

Pr= es la profundidad

Análisis estadístico

El análisis estadístico de carbono almacenado en el suelo se realizó por plantación. Posteriormente, se obtuvo un análisis de varianza y con comparaciones de medias por Tukey, con el programa Statistical Analysis System (SAS) para determinar la cuantificación de carbono almacenado de suelo en cada una de las plantaciones de *H. brasiliensis*.

RESULTADOS

Descripción, caracterización y clasificación de las parcelas experimentales

Las seis plantaciones de *Hevea brasiliensis* se encuentra en la ecoregión terraza de Huimanguillo y en el grupo de Acrisoles con 3 hasta 7 subunidades diferentes (acrisoles Cutánico, Úmbrico, Húmico, Hiperdístico, Arcilloso, Férrico, y Gléyico) y con un relieve de lomerío ligeramente inclinado, excepto en la plantación de 51 años donde es lomerío inclinado. Cuatro perfiles están bien drenados y dos son imperfectamente drenados y con una pendiente de media de 2% y una de 15% (Figuras A1-A6).

Los datos de carbono orgánico (CO), se obtuvieron con el cálculo del carbono almacenado en $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la profundidad de 0-30 cm, con el objeto de comparar la acumulación en las diferentes plantaciones de *H. brasiliensis*. En la Tabla 9, se observa que las plantaciones de 5, 9, 15, 25 y 32 años de edad no presentan diferencias estadísticas; indicando una similitud en el almacenamiento de carbono a pesar que son de diferentes edades. Sin embargo, en la plantación de 51 años se obtuvo un valor mínimo de carbono almacenado de $33.17 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, esto podría deberse a la pendiente que presenta la plantación (15%), favorable a la erosión hídrica y lixiviación del suelo. En la profundidad de 30-60 cm, la plantación con mayor carbono almacenado fue la plantación de 25 años con un valor máximo de $178.47 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Esta plantación cuenta con cubierta vegetal (arvenses y árboles suprimidos), lo cual protege al suelo de la erosión hídrica y aumenta el carbono orgánico a través de la descomposición de la hojarasca, que se deposita el suelo.

Cabe señalar que la plantación de 25 años de edad posee un suelo Acrisol Cutánico Úmbrico con un horizonte A de 64 cm de espesor que presenta el contenido más alto de materia orgánica (18%), color oscuro y con baja saturación de bases y la de 51 años presentó un valor mínimo de 33.17 Mg.ha⁻¹, debido a que se encuentra en un Acrisol Cutánico con horizonte A de 15 cm de espesor y 6.7 % de MO, sobre una pendiente de 15% que provoca pérdida de suelo a través de la erosión hídrica y lixiviación, ocasionando pérdida de la materia orgánica.

Tabla 9. Características del suelo en plantaciones de *H. brasiliensis* en diversas edades.

| Edad | Profundidad | pH (H ₂ O) rel. 1:2 | Da | M.O % | CO (Mg. Ha ⁻¹) |
|------|-------------|-----------------------------------|------|----------|-------------------------------|
| 5 | | 4.51 | 0.88 | 8.91 | 135.57 a |
| 9 | | 4.59 | 0.88 | 8.53 | 130.00 a |
| 15 | 0-30 | 4.74 | 0.88 | 11.45 | 164.33 a |
| 25 | | 4.66 | 0.56 | 18.05 | 176.57 a |
| 32 | | 4.55 | 0.86 | 11.92 | 177.80 a |
| 51 | | 4.25 | 0.96 | 3.96 | 65.47 b |
| 5 | | 4.47 | 1.29 | 3.02 | 67.37 bc |
| 9 | | 4.46 | 1.25 | 2.47 | 53.47 ab |
| 15 | | 4.64 | 1.21 | 4.29 | 85.10 ab |
| 25 | 30-60 | 4.66 | 0.81 | 12.65 | 178.47 c |
| 32 | | 4.54 | 1.24 | 5.35 | 110.13 a |
| 51 | | 4.30 | 1.11 | 1.67 | 33.17 b |

Letras diferentes en cada edad indican diferencias significativas (p ≤ 0.05)

La plantación de 25 años presentó mayor carbono total almacenado en el suelo a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm) con un valor de 355.03 Mg.ha⁻¹ y la plantación de 51 años presentó un valor mínimo de 98.63 Mg.ha⁻¹, que las plantaciones de 5, 9, 15 y 32 años de edad.

DISCUSIÓN

Los seis perfiles de suelo que se clasificaron en este estudio son similares con los que reportados por Zavala-Cruz *et al.* (2014), quienes observan que se encuentran dentro de una ecoregión de terraza, con un tipo de relieve de 2 a 6% y en lomeríos ligera a moderadamente inclinados, suelos profundos y pobres en bases intercambiables; aunque los perfiles de este estudio se encontraron en un relieve de lomerío ligeramente inclinado a lomerío inclinado, con una pendiente de 2 a 15%.

También se estimó la cantidad de carbono acumulado en el suelo a diferentes edades de *H. brasiliensis*. Al comparar el carbono almacenado de las plantaciones de 5, 9, 15, 25 y 32 años de edad con los 51 años de edad se observa una diferencia significativa de $P \leq 0.05$. Los datos de carbono orgánico en la plantación de 25 años son altos (177.80 Mg.ha⁻¹) al compararlos con árboles forestales, pasturas mejoradas sin árboles, bosques secundarios (95.1, 21.7 y 139.2 Mg.ha⁻¹) respectivamente (Ibrahim *et al.*, 2007); es decir el manejo influye en la acumulación de carbono orgánico en el suelo, debido a la reducción de cobertura vegetal en el estrato arbustivo, herbáceo, árboles suprimidos y la pendiente.

En la profundidad de 0-30 cm los valores son más altos que los de 30-60 cm, lo cual indica mayor cantidad de carbono en los estratos superficiales, lo que coincide con Robert (2002), quien menciona que el carbono varía con la profundidad, y esta en correspondencia con el suelo, contenido y descomposición de carbono orgánico, el uso de suelo ancestral y el actual. La plantación que tuvo mayor carbono almacenado (64 cm) fue la de 25 años de edad, esto se debe a factores: la materia orgánica y la densidad aparente, asimismo, por la mayor cubierta vegetal que se presentaron en esas dos plantaciones (arvenses y árboles suprimidos), y por el mayor desarrollo pedogenético del horizonte A en este Acrisol, en comparación con los suelos similares de la misma terraza (Zavala-Cruz *et al.*, 2014). La plantación de 51 años tiene un valor menor que las demás plantaciones, es decir que a pesar de que son árboles viejos y tener mayor fijación y almacenamiento de carbono en la parte arbórea, es menor la cantidad de carbono en el suelo. Cabe suponer que esta plantación presenta menor carbono almacenado por el menor desarrollo del horizonte A el Acrisol (15 cm), el relieve de lomerío inclinado y la pendiente de 15%, lo cual provoca una pérdida de materia orgánica a través de un proceso lento de erosión hídrica y lixiviación.

CONCLUSIÓN

Las plantaciones de *Hevea brasiliensis* se desarrollan sobre suelos del grupo Acrisol. En cuanto al carbono contenido en el horizonte superior de 0- 30 cm del suelo, la plantación de 5, 9, 15, 25 y 32 años de edad no presentan diferencias estadísticas, lo cual indica que hay un almacenamiento de carbono similar en capas

superficiales con un valor máximo de 177.80 Mg.ha⁻¹ y un mínimo de 130.00 Mg.ha⁻¹ del suelo a pesar de que son de diferentes edades. Sin embargo, la plantación de 51 años de edad mostró un valor menor de 65.47. Mg.ha⁻¹, indicando una diferencia estadística altamente significativa, probablemente debido al menor desarrollo pedogenético del horizonte A (15 cm) y la pendiente del terreno que ocasiona pérdidas de hojarasca y de materia orgánica por escorrentía. En la profundidad de 30-60 cm la plantación de 25 años presenta un valor más alto de 178.47 Mg.ha⁻¹ en el almacenamiento de carbono y la de 51 años de edad tiene un valor menor 33.17 Mg.ha⁻¹ en comparación con las demás plantaciones, indicando diferencia significativa. La plantación de mayor edad almacenó menor cantidad de carbono en la parte superior e inferior, quizá por el escaso espesor del horizonte A, la pendiente de 15% que presenta el terreno, lo que ocasiona la pérdida de hojarasca y de materia orgánica por escorrentía. La plantación de 25 años presentó mayor carbono total almacenado (355 Mg.ha⁻¹) que las plantaciones del resto de edades, esto se debe al mayor desarrollo del horizonte A (64 cm), y a la cubierta vegetal de arvenses y de árboles suprimidos que se encuentran en esa plantación.

REFERENCIAS

- Casanova L, F., J. Petit A., J. Solorio S. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1), 5-118. doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047

- Chaudhuri, S., L. M. McDonald, E. M. Pena Y., E. M., J. Skousen, M. Roy. 2013. Chemically stabilized soil organic carbon fractions in a reclaimed minesoil chronosequence: implications for soil carbon sequestration. *Revista environ earth Sci*, 70, 1689-1698. Doi:
- Cuanalo de la C., H. 1990. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª. Ed. Colegio de Postgraduado. Chapingo, México. 40.
- Domínguez D., M., P. Martínez Z., C. Hernández C., J. M., Velázquez, M. A. y R. F. Izquierdo. 2005. Diagnóstico de manejo postcosecha de hule *Hevea brasiliensis* en Tabasco. VII congreso mexicano de recursos forestales. Memorias de resúmenes. Chihuahua, Chihuahua. 252.
- Durán B., E. H., L. Duque C., J. C. Suárez-Salazar. 2011. Estimación de carbono en sistemas agroforestales de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. *Revista Ingenierías & Amazonia*, 4(1), 19-26.
- Flores-Ramírez, N. F., Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J. 2012. Potencial de captura y almacenamiento de CO₂ en el Valle de Perote. Estudio de caso:
- Ibrahim, M., M. Chacón, C. Cuartas, J. Naranjo, G. Ponce, P. Vega, F. Casasola, J. Rojas. 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.
- INEGI (Instituto nacional geoestadística y geografía). 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Huimanguillo, Tabasco.

IUSS, ISRIC y FAO (2007), *Base referencial mundial del recurso suelo primera actualización 2007*, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos núm. 103, FAO, Roma.

MAVDT (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, política nacional de producción y consumo sostenible. Bogotá D.C. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial). 2010. Guía ambiental para la producción de caucho natural. Colombia.

Moreno G., J. A., J. Burgos S. H. E. Nieves O., C. E. Buitrago S. 2005. Modelo alométrico general para la estimación del secuestro de carbono por plantaciones de caucho *Hevea brasiliensis* Mull Arg. En Colombia. *Colombia Forestal*, 91(8), 5-21. Obtenido de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3043/4397>.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Ortiz, P. M.A., C. Siebe, S. Kram. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap. 14:305-322. *En*: Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco, 386 p. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. ISBN 970-9000-26-8. 305- 316 p.

Palma L., D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C., y J. A. Rincón R. 2007. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco, México. 3ª Ed. ISPROTAB Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados.

- Robert, M. 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 (FAO). 65 p.
- Rojo M., G. E., R. Martínez R., J. Jaso M. 2011. El cultivo del Hule en México. México: Universidad Autónoma Indígena de México- Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo Programa de Forestal. Obtenido de <http://www.uaim.mx/Documentos/CultivoDelHule.pdf>.
- SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera). 2013. Sector presupuestal: agricultura ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Consultado el 18 de abril 2015.
- Weifeng, W., X. Wei, W. Liao, J. A. Blanco, Y. Liu, S. Liu, G. Liu, L. Zhang, X Guo, S. Guo. 2013. Evaluation of the effects of forest management strategies on carbon sequestration in evergreen broad-leaved (*Phoebe bournei*) plantation forests using FORECAST ecosystem model. Forest Ecology and Management, 300 (1), 21–32. [doi:10.1016/j.foreco.2012.06.044](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.044)
- Zavala-Cruz, J., S. Salgado, G., A. Marín, A., D. J. Palma-López, M. Castelán, E., R. Ramos, R. 2014. Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

La plantación de 51 años de edad de *Hevea brasiliensis* presenta mayor carbono almacenado en la biomasa arbórea que en el suelo. El 70.2% de carbono se almacena en los fustes. Las plantaciones viejas (51 años) de hule almacenan 257.07 Mg.ha⁻¹ de carbono en todo el componente arbóreo (fuste y ramas) que es un valor más alto que el reservorio promedio reportado para bosque tropical subcaducifolio, selva mediana, plantaciones de *Gmelina arborea* y bosques de *Quercus oloide*. En la profundidad de 0-30 cm las plantaciones de 5, 9, 15, 25 y 32 años de edad no presentan diferencias estadísticas, lo cual indica que hay almacenamiento de carbono en capas superficiales del suelo similar a pesar de tener diferentes edades. El almacenamiento de carbono en esa capa superficial del suelo, la plantación de 32 años de edad mostró el valor más alto de 177.80 Mg.ha⁻¹ y un valor mínimo en la edad de 51 años con 65.47 Mg.ha⁻¹. En la profundidad de 30-60 cm la plantación de 25 años de edad tiene el valor mayor de 178.47 Mg.ha⁻¹ y la plantación de etapa vejez vuelve a presentar un menor valor de carbono almacenado en comparación con las demás plantaciones. En conjunto, la plantación que presentó mayor carbono almacenado fue la plantación de 25 años de edad con un valor de 355.03 Mg.ha⁻¹. Este estudio manifestó diferencias de carbono almacenado en la biomasa arbórea (121.48 Mg.ha⁻¹) y en el suelo

(335.03 Mg.ha⁻¹) en cada una de las plantaciones, indicando que la edad, tiene una relación con el almacenamiento de carbono en ambos reservorios por la acumulación de hojarasca, suelo y pendiente. Las plantaciones de *Hevea brasiliensis* al capturar carbono y almacenarlo en plantas y suelo brindan un servicio ambiental, ya que cuentan con un potencial para mitigar la acumulación de CO₂ de la atmósfera.

IX. ANEXO

ACRISOLES (AC)

Son suelos que presenta un horizonte B árgico con una CIC (por $\text{NH}_4\text{OAc}1\text{M}$) menor de $24 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ arcilla en alguna parte hasta una profundidad máxima de 50 cm debajo de su límite superior, ya sea comenzando dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, o dentro de 200 cm de la superficie del suelo si el horizonte árgico tiene por encima textura arenosa franca o más gruesa en todo el espesor, y una saturación con bases (por $\text{NH}_4\text{OAc}1\text{M}$) menor de 50 % en la mayor parte entre 50 y 100 cm (IUSS *et al.*, 2007).

AC (del latín *acer*, muy ácido) es un suelo fuertemente meteorizado, se desarrolla a partir de rocas ácidas y arcillas degradadas; se asocia con tierras antiguas de colinas o topografía ondulada, en regiones tropicales húmedas. Es poco fértil debido a deficiencia de macro y micronutrientes. Su uso lo condiciona la preservación de MO y la prevención de la erosión, por lo que se recomienda para bosques, agroforestería, pastos cultivados y cultivos tolerantes a la acidez, como *H. brasiliensis* y palma de aceite; los de secano o irrigación sólo después de aplicar el encalado y fertilización.

Acrisol Cutánico (Férrico, Húmico, Hiperdístico, Arcilloso) ACct (fr,hu,hd,ce)

Se caracterizan por presentar revestimiento de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico en los primeros 100 cm de profundidad. El calificador Férrico es un horizonte que tiene una segregación de Fe, o Fe y Mn, ha tenido lugar en tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos y la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe. Asimismo, presenta un horizonte

Húmico que tiene presencia de contenido de carbono orgánico en la fracción tierra fina de 1% o más hasta una profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral. También presenta un calificador de tercer orden: es Hiperdístico que se caracteriza por una saturación de bases menor a 50% dentro de los 20 a 100 cm de la superficie del suelo y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm. El calificador Arcilloso se debe a su alto contenido de arcilla, porcentaje de saturación de bases (PSB) de 50% ó más en la mayor parte entre los 20 y 100 cm de profundidad.

Acrisol Cutánico Úmbrico (Férrico, Hiperdístico, Arcilloso) ACct,um (fr,hd,ce)

Se caracterizan por presentar revestimiento de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico en los primeros 100 cm de profundidad. El calificador Úmbrico presenta un horizonte superficial grueso, de color oscuro, con baja saturación de bases y contenido moderado a alto de materia orgánica. Es Férrico por presentar un horizonte que tiene una segregación de Fe, o Fe y Mn, ha tenido lugar en tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos y la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe. Es Hiperdístico debido a que se caracteriza por una saturación de bases menor a 50% dentro de los 20 a 100 cm de la superficie del suelo y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm. El calificador Arcilloso se debe a su alto contenido de arcilla, PSB de 50% o más en la mayor parte entre los 20 y 100 cm de profundidad.

Acrisol Cutánico Úmbrico (Húmico, Hiperdístico, Arcílico) ACct,um (hu,hd,ce)

Se caracterizan por presentar revestimiento de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico en los primeros 100 cm de profundidad. El calificador Úmbrico presenta un horizonte superficial grueso, de color oscuro, con baja saturación de bases y contenido moderado a alto de materia orgánica. Asimismo, presenta un horizonte Húmico que tiene presencia de contenido de carbono orgánico en la fracción tierra fina de 1% o más hasta una profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral. También presenta un calificador de tercer orden: es Hiperdístico que se caracteriza por una saturación de bases menor a 50% dentro de los 20 a 100 cm de la superficie del suelo y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm. El calificador Arcilloso se debe a su alto contenido de arcilla, PSB de 50% ó más en la mayor parte entre los 20 y 100 cm de profundidad.

Acrisol Cutánico Úmbrico (Húmico, Hiperdístico) ACct,um(hu,hd)

Se caracterizan por presentar revestimiento de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico en los primeros 100 cm de profundidad. El calificador Úmbrico presenta un horizonte superficial grueso, de color oscuro, con baja saturación de bases y contenido moderado a alto de materia orgánica. Asimismo, presenta un horizonte Húmico que tiene presencia de contenido de carbono orgánico en la fracción tierra fina de 1% o más hasta una profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral. También presenta un calificador de tercer orden: es Hiperdístico que se caracteriza por una saturación de bases menor a 50% dentro de los 20 a 100 cm

de la superficie del suelo y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm.

Acrisol Cutánico Gléyico Úmbrico (Férrico, Húmico, Hiperdístico, Arcílico)
ACct,gl,um(fr,hu,hd,ce)

Se caracterizan por presentar revestimiento de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico en los primeros 100 cm de profundidad. Asimismo, tiene dentro de 100 cm de la superficie del suelo mineral, una capa de 25 cm o más de espesor que tiene condiciones reductoras en algunas partes y un patrón de color gléyico en todo el espesor. El calificador Úmbrico presenta un horizonte superficial grueso, de color oscuro, con baja saturación de bases y contenido moderado a alto de materia orgánica. El calificador Férrico es un horizonte que tiene una segregación de Fe, o Fe y Mn, ha tenido lugar en tal grado que se forman grandes moteados o nódulos discretos y la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe. Asimismo, presenta un horizonte Húmico que tiene presencia de contenido de carbono orgánico en la fracción tierra fina de 1% o más hasta una profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral. También presenta un calificador de tercer orden es Hiperdístico que se caracteriza por una saturación de bases menor a 50% dentro de los 20 a 100 cm de la superficie del suelo y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm. El calificador Arcilloso se debe a su alto contenido de arcilla, PSB de 50% ó más en la mayor parte entre los 20 y 100 cm de profundidad.

Acrisol Cutánico (Hiperdístico, Arcílico) ACct(hd,ce)

Se caracterizan por presentar revestimiento de arcilla en algunas partes de un horizonte árgico en los primeros 100 cm de profundidad. También presenta un calificador de tercer orden es Hiperdístico que se caracteriza por una saturación de bases menor a 50% dentro de los 20 a 100 cm de la superficie del suelo y menos de 20% en alguna capa dentro de los primeros 100 cm. El calificador Arcilloso se debe a su alto contenido de arcilla, PSB de 50% ó más en la mayor parte entre los 20 y 100 cm de profundidad.

Figura A 1. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico (Férrico, Húmico, Hiperdístrico, Arcilloso) ACct(fr,hu,hd,ce)

Fecha: 10 de junio del 2014
 Localidad: Ejido Pedregal Moctezuma 1ra. Sección, Huimanguillo.
 Localización: 433614 - 1953399
 Elevación: 51 mnsn
 Relieve: Lomerío ligeramente inclinado
 Pendiente: 2 %
 Drenaje del sitio: Donador
 Drenaje del perfil: Bien drenado
 Material parental: Arenisca y conglomerado (Ar-Cgp) del Terciario Plioceno–Cuaternario Pleistoceno
 Vegetación Cultivada: Hule (5 años) y piña
 Vegetación nativa: Arvenses (helechos dominantes)
 Fauna: Araña, gavián, mosquitos y mariposas.
 Observaciones: Manto freático a 130 cm de profundidad.



| Perfil 1 | Horizontes (cm) | Descripción del perfil |
|----------|------------------|--|
| | Ap 0 - 24 | Transición, horizontal y marcada; humedad, húmedo; color pardo muy oscuro (10 YR 2/2); textura migajón arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada, granular media; consistencia en húmedo muy friable; poros numerosos, finos, continuos caóticos, fuera de agregados, forma irregular; raíces abundantes finas y delgadas; fauna hormigas, lombrices y gallina ciega; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida. |
| | A/B 24 - 45 | Transición, horizontal y tenue; humedad, húmedo; 50% de color pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4) y 50% es pardo amarillento (10YR 5/6); textura migajón arenoso; pedregosidad pedregoso-grava y piedras pequeñas de forma redonda-subangular, clase de piedra conglomerado; estructura moderadamente desarrollada, granular media; consistencia en húmedo, friable; poros frecuentes, muy finos, discontinuos, caóticos, fuera de agregado, forma irregular; raíces comunes finas; sin reacción al HCl; sin reacción peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida. |
| | Bt1 45 - 76 | Transición, horizontal y tenue; humedad, húmedo; color rojo (2.5YR 5/8); textura arcilla media; pedregosidad ligeramente pedregoso, gravas y piedras pequeñas, forma redonda subangular, clase de piedra conglomerado; estructura moderadamente, granular media; consistencia en húmedo, friable; cutanes formados por eluviación discontinuos, delgados, canales de raíces y entre agregados, minerales arcillosos; poros frecuentes, muy finos, discontinuos, caóticos dentro de los agregados tabulares e irregulares; raíces pocas y finas; sin reacción al HCl; sin reacción peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |
| | Bt2 76 - 107 | Transición, horizontal y tenue; humedad, húmedo; color rojo (2.5YR 5/8); motas marcadas, muchas, medias y grandes de color rojo (10 R 4/8), otras son marcadas, muchas y medias, color rojo claro (10 R 6/8); textura al tacto, arcilla media; pedregosidad ligeramente pedregoso y gravas subangulares; estructura débilmente desarrollada, granular media; consistencia en húmedo, firme; cutanes por eluviación discontinuos, delgado en canales de raíces y entre agregados, minerales arcillosos; poros pocos, muy finos, discontinuos, caóticos, dentro de los agregados tabulares e irregulares; raíces pocas y finas; sin reacción al HCl; nula al reacción peróxido de hidrógeno permeabilidad lenta. |
| | Bt3 107 - 140 | Muy húmedo; color amarillo parduzco (10YR 6/8); motas prominentes, muchas y grandes de color rojo (10R 4/8); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad, pedregoso, gravas, piedras pequeñas, redondas y subangulares; estructura débilmente desarrollada, poliédrica subangular fina; consistencia en húmedo, friable; cutanes por eluviación discontinuos, delgado en canales de raíces y en poros entre agregados, minerales arcillosos; nódulos pocos, pequeños y muy pequeños, de color rojo (10R 5/8), con una forma de esferoide blandos y duros, óxido de hierro; poros, pocos, muy finos, discontinuos, caóticos, dentro de los agregados tabulares e irregulares; raíces pocas y finas; sin reacción al HCl; nula al reacción peróxido de hidrógeno permeabilidad lenta. |

Tabla A 1. Propiedades físicas y químicas del perfil 1

| Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) | MO | CO | K | Ca | Mg | Na | Al | Acidez | Fe | Mn | CIC | PSB | CIC kg ⁻¹ arc* | Arcilla | Limo | Arena | Textura |
|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------|------|------|-------|------|------------------------------|---------|------|-------|--------------------|
| | rel. 1:2 | (%) | % | | | | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- | | | | | % | -----(%)----- | | | | |
| A1 | 4.49 | 9.33 | 5.41 | 0.06 | 0.42 | 0.12 | 0.07 | 1.35 | 53.34 | 0.95 | 1.24 | 10.98 | 6.1 | 30.5 | 36 | 15 | 49 | Arcillo arenoso |
| A/B | 4.11 | 3.20 | 1.86 | 0.02 | 0.14 | 0.03 | 0.02 | 0.62 | 19.06 | 0.22 | 0.72 | 4.49 | 4.7 | 10.9 | 41 | 11 | 48 | Arcillo arenoso |
| Bt1 | 4.46 | 1.93 | 1.12 | 0.05 | 0.24 | 0.03 | 0.07 | 1.04 | 4.92 | 0.13 | 0.72 | 3.49 | 11.2 | 6.6 | 53 | 15 | 32 | Arcilloso |
| Bt2 | 4.32 | 0.93 | 0.54 | 0.04 | 0.58 | 0.09 | 0.06 | 0.94 | 0.72 | 0.05 | 0.72 | 4.49 | 17.1 | 7.3 | 61 | 15 | 24 | Arcilloso |
| Bt3 | 4.45 | 0.40 | 0.23 | 0.02 | 1.43 | 0.14 | 0.06 | 0.83 | 0.4 | 0.02 | 0.72 | 4.99 | 33.1 | 9.8 | 51 | 17 | 32 | Arcilloso |

Figura A 2. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Úmbrico (Férrico, Hiperdístico, Arcilloso) Cct,um(fr,hd,ce)

Fecha: 11 de junio del 2014
 Localidad: ejido Pedregal Moctezuma 1ra. Sección, Huimanguillo.
 Localización: 0433935 - 1952991
 Elevación: 62 mnsn
 Relieve: Lomerío ligeramente inclinado
 Pendiente: 2 %
 Drenaje del sitio: Donador
 Drenaje del perfil: Bien drenado
 Material parental: Arenisca y conglomerado (Ar-Cgp) del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno
 Vegetación Cultivada: Hule (9 años)
 Vegetación nativa: Gramíneas y arvenses
 Fauna: Araña, mosquitos y mariposas.
 Observaciones: Manto freático a 150 cm de profundidad.



| Perfil 2 | Horizontes (cm) | Descripción del perfil |
|----------|-----------------|--|
| | Ap 0 - 28 | Transición, marcada y horizontal; humedad, húmedo; color pardo muy oscuro (10 YR 2/2); textura franco; pedregosidad, muy pocas, del tamaño de gravas redondas conglomerado; estructura fuertemente, poliédrica subangular, muy fina, fina y estructura granular; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación discontinuos, moderadamente espesos dentro y fuera de los agregados y confinados a los poros o canales de las raíces y arcilla; poros numerosos, muy finos, finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados intersticial y tabulares; raíces abundantes finas, delgadas y medias; fauna lombrices; nula reacción al HCl; nula al reacción peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | A/B 28 - 45 | Transición, media ondulada; humedad, húmedo; 50% de color pardo oscuro (10 YR 4/3) y 50% pardo amarillento (10YR 5/6); textura migajón arenoso; pedregosidad, pedregoso del tamaño de gravas, piedras pequeñas redonda y conglomerado; estructura fuerte, poliédrica subangular, muy fina y fina; consistencia en húmedo, friable y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación continuos delgados dentro y fuera de agregados, confinados a los poros o canales de las raíces y arcilla; poros numerosos, micros, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregado, intersticial y tabular; raíces comunes finas, delgadas y medias; fauna lombrices; nula reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | Bt1 45 - 95 | Transición, tenue ondulada; humedad, húmedo; color rojo amarillento (5YR 5/8); textura arcilla media; pedregosidad, ligera del tamaño de grava, piedras pequeñas, redondas y conglomeradas; estructura fuertemente, poliédrica subangular fina y media; consistencia en húmedo, friable y en muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación moderadamente espesos y espesos, dentro y fuera de agregados, confinados a los poros o canales de las raíces y arcilla; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro de los agregados intersticial y tabulares; raíces pocas, finas, delgadas y medias; fauna lombrices; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |
| | Bt2 95 - 119 | Transición, media horizontal; humedad, húmedo; color rojo amarillento (5YR 5/8); motas marcadas, muchas, finas y medias de color rojo (10 R 4/8), otras son marcadas, comunes, finas y medias, color rojo claro (10 R 6/8); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad, ligera del tamaño de grava, piedras pequeñas, redondas y conglomeradas; estructura fuertemente, poliédrica subangular fina y media consistencia en húmedo, firme y en muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos moderadamente espesos dentro y fuera de agregados, confinados a los poros o canales de las raíces y arcilla; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro de los agregados intersiacial y tabulares; raíces, muy raras y finas; fauna lombrices; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |

| | | |
|--|------------------|--|
| | Bt3 119 - 150 | Húmedo; color amarillo (10YR 7/8); motas prominentes, muchas y medias, de color rojo (10R 4/8); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava, piedras pequeñas, redondas y conglomeradas; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular muy fina, fina y media; consistencia en húmedo, muy firme y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación discontinuos, moderadamente espesos dentro y fuera de agregados, confinados a los poros o canales de las raíces y arcilla; nódulos pocos, muy pocos, rojos, subangulares blandos de óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos dentro de los agregados intersticial y tabulares; raíces, muy raras y finas; fauna lombrices; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
|--|------------------|--|

Tabla A 2 Propiedades físicas y químicas del perfil 2

| Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) | MO | CO | K | Ca | Mg | Na | Al | Acidez | Fe | Mn | CIC | PSB | CIC kg arc* | Arcilla | Limo | Arena | Textura |
|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------|-------|------|------|----------------|----------------|---------|------|-------|---------------------------|
| | rel. 1:2 | (%) | % | | | | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- | | | | % | -----(%)----- | | | | | |
| Ap | 4.59 | 9.17 | 5.31 | 0.06 | 0.18 | 0.08 | 0.08 | 1.04 | 1.14 | 35.12 | 0.89 | 9.98 | 4.0 | 35.64 | 28 | 17 | 55 | Franco arcillo arenoso |
| A/B | 4.49 | 3.40 | 1.98 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.94 | 0.72 | 18.32 | 0.23 | 3.49 | 4.6 | 10.26 | 34 | 5 | 61 | Franco arcillo arenoso |
| Bt1 | 4.30 | 1.60 | 0.93 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.07 | 0.94 | 1.03 | 3.32 | 0.13 | 3.49 | 5.4 | 6.34 | 55 | 11 | 34 | Arcilloso |
| Bt2 | 4.70 | 0.60 | 0.35 | 0.04 | 0.64 | 0.10 | 0.09 | 0.83 | 0.52 | 0.44 | 0.07 | 3.49 | 24.9 | 6.34 | 55 | 13 | 32 | Arcilloso |
| Bt3 | 4.61 | 0.30 | 0.17 | 0.03 | 0.75 | 0.10 | 0.06 | 1.20 | 0.88 | 0.1 | 0.08 | 3.24 | 29.0 | 6.11 | 53 | 17 | 30 | Arcilloso |

Figura A 3. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Úmbrico (Húmico, Hiperdístico, Arcílico) ACct, um (hu,hd,ce)

| <p>Fecha: 10 de junio del 2014 Localidad: ejido Pedregal Moctezuma 1ra. Sección, Huimanguillo. Localización: 433551 - 1953451 Elevación: 74 mnsn Relieve: Lomerío ligeramente inclinado o lomerío suave ligeramente convexo Pendiente: 2 % Drenaje del sitio: Donador Drenaje del perfil: Bien drenado Material parental: Arenisca y conglomerado (Ar-Cgp) del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno Vegetación Cultivada: Hule (15 años) Vegetación nativa: Arvenses Fauna: Araña, gavián, mosquitos y mariposas. Observaciones: La lámina de agua se encuentra a 130 cm de profundidad.</p> | |  |
|--|-------------------------|--|
| Perfil 3 | Horizontes (cm) | Descripción del perfil |
|  | Ap 0 - 26 (21-33) | Transición, marcada y regular; humedad, húmedo; color pardo muy oscuro (10 YR 2/2); textura migajón arcillo arenosa; pedregosidad, muy pocas piedras, tamaño de grava piedras pequeñas redondas de conglomerado; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina y media, también hay estructura granular fina; consistencia en húmedo friable y muy húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, discontinuo, moderadamente espeso, fuera de los agregados y confinados a los poros o canales de raíces, son de minerales arcillosos; poros numeroso, muy finos, finos y medianos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados, intersticial y tabulares; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; fauna lombrices y hormigas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | A/B 21-33 (36-45) | Transición, media y regular; humedad, húmedo; 50% de color pardo oscuro (7.5 YR 3/4) y 50% rojo oscuro (2.5YR 3/6); textura arena migajosa; pedregosidad pedregoso piedras pequeñas redondas y conglomerados; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina y fina; consistencia en húmedo, friable y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espeso, dentro y fuera de los agregados, con finados a los poros continuos o canales de raíces; poros numerosos, micros y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados intersiciable; raíces comunes finas, delgadas y medias; fauna lombrices y hormigas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | Bt1 45 - 86 | Transición, tenue y ondulada; humedad, húmedo; color rojo (10R 4/8); textura arcilloso; pedregosidad ligeramente pedregoso, tamaño de gravas y piedras pequeñas redondas de conglomerado; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, fina y media; consistencia en húmedo, firme y muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espeso dentro y fuera de los agregados, con finados a los poros continuos o canales de raíces; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados intersiciable; raíces pocas, finas, delgadas y medias; fauna lombrices y hormigas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |
| | Bt2 86 - 114 | Transición, tenue horizontal; humedad, húmedo; color rojo (2.5YR 4/8); motas marcadas, muchas, finas y medias de color amarillo rojizo (7.5 YR 6/6); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad ligeramente pedregoso, tamaño de gravas y piedras pequeñas redondas de conglomerado; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina y media; consistencia en húmedo, firme y consistencia muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espeso y espeso, dentro y fuera de los agregados, con finados a los poros continuos o canales de raíces; nódulos muy pocos, muy pequeños, rojos, elipsoides, blandos de óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados intersiciable; raíces raras finas y delgadas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |

| | | |
|--|------------------|---|
| | Bt3 114 - 140 | Muy húmedo; color amarillo rojizo (7.5YR 6/6); motas marcadas, abundantes finas y medias de color rojo (10R 4/8); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad, muy pocas piedras, gravas redondas y conglomerados; estructura moderada, poliédrica subangular muy fina y media; consistencia en húmedo, muy firme y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación discontinuos, moderadamente espesos, dentro y fuera de los agregados, con finados a los poros continuos o canales de raíces, nódulos muy pocos, muy pequeños, rojos, elipsoides, blandos de óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados intersticiales; raíces muy raras, finas y delgadas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |
|--|------------------|---|

Tabla A 3. Propiedades físicas y químicas del perfil 3

| Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) | MO | CO | K | Ca | Mg | Na | Al | Acidez | Fe | Mn | CIC | PSB | CIC kg arc* | Arcilla | Limo | Arena | Textura |
|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------|-------|------|-------|------|----------------|---------|------|-------|---------------------------|
| | rel. 1:2 | (%) | % | | | | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- | | | | | % | -----(-)----- | | | | |
| Ap | 4.70 | 9.83 | 5.70 | 0.08 | 1.09 | 0.28 | 0.14 | 1.04 | 1.03 | 49.50 | 1.22 | 10.98 | 14.5 | 35.42 | 31 | 17 | 52 | Franco arcillo arenoso |
| A/B | 4.50 | 3.93 | 2.28 | 0.01 | 1.10 | 0.04 | 0.07 | 0.73 | 0.83 | 18.76 | 0.19 | 4.99 | 24.4 | 16.1 | 31 | 19 | 50 | Franco arcillo arenoso |
| Bt1 | 4.42 | 1.87 | 1.08 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.07 | 0.94 | 1.03 | 3.08 | 0.09 | 3.99 | 4.5 | 6.76 | 59 | 13 | 28 | Arcilloso |
| Bt2 | 4.67 | 0.73 | 0.42 | 0.01 | 0.61 | 0.05 | 0.09 | 1.04 | 1.03 | 0.68 | 0.04 | 4.49 | 16.9 | 7.88 | 57 | 15 | 28 | Arcilloso |
| Bt3 | 4.77 | 2.33 | 1.35 | 0.01 | 0.29 | 0.04 | 0.06 | 0.83 | 0.83 | 0.28 | 0.03 | 6.49 | 6.2 | 11.8 | 55 | 17 | 28 | Arcilloso |

Figura A 4. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Úmbrico (Húmico, Hiperdístico) ACct, um (hu, hd)

Fecha: 11 de junio del 2014
 Localidad: ejido Pedregal Moctezuma 1ra. Sección, Huimanguillo.
 Localización: 0433942 - 1953473
 Elevación: 64 mnsnm
 Relieve: Lomerío ligeramente inclinado
 Pendiente: 2 %
 Drenaje del sitio: Donador
 Drenaje del perfil: imperfectamente drenado
 Material parental: Arenisca y conglomerado (Ar-Cgp) del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno
 Vegetación Cultivada: Hule (25 años)
 Vegetación nativa: Arvenses
 Fauna: Araña, mosquitos y mariposas.
 Observaciones: En el horizonte tres, es evidente el proceso de eluviación de materiales orgánicos a través de canales de raíces.



| Perfil 4 | Horizontes (cm) | Descripción del perfil |
|----------|-------------------------------|---|
| | Ap 0 - 22 | Transición, media y horizontal; humedad, húmedo; color negro (2.5 Y 2/0); textura migajón arcillo arenoso; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava redonda de conglomerado; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, finas, media y granular fina; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de agregados confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros numerosos, muy finos, finos y medianos, continuos caóticos, dentro y fuera de agregados tabulares intersicial; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; fauna; sin reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | A2 22 - 64 | Transición, media y horizontal; humedad, húmedo; color negro (2.5 Y 2/0); textura migajón arenoso; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava redonda de conglomerado; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, muy fina, fina y media, granular fina; consistencia en húmedo, friable y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de agregados confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros numerosos, micros, muy finos, finos, continuos, caóticos dentro y fuera de agregado tabulares intersicial; raíces comunes, finas, delgadas y medias; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida. |
| | Bt1 64 - 108 (97 - 120) | Transición, tenue y ondulada; humedad, húmedo; 50% de color amarillo pardusco (10YR 6/6) y 50% color pardo amarillento (10 YR 5/4); textura migajón arcillo arenoso; pedregosidad ligeramente pedregoso del tamaño de gravas y piedras pequeñas redondas de conglomerados; estructura fuertemente, poliédrica subangular, muy fina, fina y media; consistencia en húmedo, friable y en muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de agregados confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; nódulos muy pocos, muy pequeños, rojos subangulares, blandos de óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos caóticos dentro y fuera de agregados tubulares intersicial; raíces pocas finas, delgadas y medias; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |
| | Btg1 120 - 150 | Húmedo; color amarillo (10YR 8/8); motas comunes, prominentes, muy finas y finas, de color rojo (10R 4/8), el otro moteado están marcadas, muy raras y muy grandes color gris claro (2.5Y 7/2); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad ligeramente pedregoso del tamaño de gravas y piedras pequeñas redondas de conglomerados; estructura fuertemente, poliédrica subangular, fina y media; consistencia en húmedo, firme y en muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de agregados confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; nódulos frecuentes, muy pequeños, rojos, subangulares blandos de óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos caóticos dentro y fuera de agregados tubulares intersicial; raíces raras, finas y delgadas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |

Tabla A 4. Propiedades físicas y químicas del perfil 4

| Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) | MO | CO | K | Ca | Mg | Na | Al | Acidez | Fe | Mn | CIC | PSB | CIC kg arc* | Arcilla | Lim o | Aren a | Textura |
|--------------------|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|---|--------|-------|------|-------|----------------|----------------|---------|----------|-------------------|-----------------------------|
| | rel. 1:2 | (%) | % | | | | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- --- | | | | % | -----(%)------ | | | | | |
| Ap | 4.75 | 17.34 | 10.0 | 0.10 | 0.52 | 0.16 | 0.11 | 1.67 | 1.96 | 20.46 | 2.02 | 21.46 | 4.1 | 77 | 28 | 19 | 53 | Franco arcilloso arenoso |
| A2 | 4.64 | 10.53 | 6.10 | 0.02 | 0.13 | 0.02 | 0.08 | 1.35 | 1.45 | 28.52 | 0.27 | 15.47 | 1.6 | 49.90 | 31 | 19 | 50 | Franco arcilloso arenoso |
| A/B | 4.40 | 1.73 | 1.00 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.08 | 1.46 | 1.34 | 12.30 | 0.21 | 3.99 | 4.3 | 9.73 | 41 | 11 | 48 | Arcilloso arenoso |
| Btg1 | 4.51 | 0.73 | 0.42 | 0.01 | 0.11 | 0.03 | 0.06 | 1.46 | 1.55 | 1.90 | 0.14 | 2.50 | 8.4 | 5.95 | 42 | 9 | 49 | Arcilloso arenoso |

Figura A 5. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico Gléyico Úmbrico (Férrico, Húmico, Hiperdístico, Arcílico) ACct,gl,um(fr,hu,hd,ce)

Fecha: 12 de junio del 2014
 Localidad: ejido Chicoacán, Huimanguillo.
 Localización: 0447299 - 1965282
 Elevación: 66 mnsn
 Relieve: Lomerío ligeramente inclinado
 Pendiente: 1.5 %
 Drenaje del sitio: Donador
 Drenaje del perfil: imperfectamente drenado
 Material parental: Arenisca y conglomerado (Ar-Cgp) del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno
 Vegetación Cultivada: Hule (32 años)
 Vegetación nativa: cafetillo, escobillo, lechero y pata de vaca
 Fauna: Araña y mosquitos.
 Observaciones: El manto freático se encontró a 80 cm de profundidad.



| Perfil 5 | Horizontes (cm) | Descripción del perfil |
|--|-----------------|--|
|  | Ap 0 - 25 | Transición, media y horizontal; humedad, húmedo; color negro (10 YR 2/1); textura migajón arcillo arenoso; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava redondas de conglomerados; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, muy finas, fina y estructura granular; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, discontinuos, moderadamente espesos dentro y fuera de agregados y confinidad a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros numerosos, muy finos, finos y medios dentro y fuera de agregados continuos caóticos y tubulares; raíces abundantes finas, delgadas y medias; fauna lombrices; sin reacción al HCl; ; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | A/B 25 - 39 | Transición, media ondulada; humedad, húmedo; 50% de color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) y 50% pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2); textura franco; pedregosidad pedregoso del tamaño de grava y piedras pequeñas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina, fina y media; consistencia en húmedo, friable y en húmedo pegajoso y plástico; cutanes por elevación continuos moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de agregados y confinidad a los poros o canales de las raíces de arcilla; nódulos muy pocos, pequeños, rojos, blandos de óxido de hierro y son subangular; poros numerosos, micros, muy finos, finos, dentro y fuera de agregados continuos y tubulares; raíces comunes, finas, delgadas, y medias; fauna lombrices; sin reacción al HCl; ; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | Bt1 39 - 64 | Transición, media ondulada; humedad, húmedo; color amarillo pardusco (10YR 6/6); moteado marcadas, comunes, finas y medias de color pardo amarillento (10 YR 5/4, el otro moteado es predominante, pocas y finas de color rojo amarillento (5YR 5/8); textura arcilla media; pedregosidad ligeramente pedregoso, gravas y piedras pequeñas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina, fina y media; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por elevación continuos moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de agregados y confinidad a los poros o canales de las raíces de arcilla y óxido de hierro; nódulos comunes, muy pequeños y pequeños, rojos, blandos de óxido de hierro y son subangular; poros numerosos, micros, muy finos, finos, dentro y fuera de agregados continuos y tubulares; raíces comunes, finas, delgadas, y medias; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |

| | | |
|--|----------------|---|
| | Btg 64 – 87 | Transición, media ondulada; humedad, muy húmedo; color gris claro (10YR 7/2); motas marcadas, comunes, muy finas y finas de color amarillo (10 YR 7/8), el otro moteado es predominante, comunes y finas color rojo (2.5 YR 4/8); textura al tacto, arcilla limosa; pedregosidad muy poca, del tamaño de gravas redondas de conglomerados; estructura fuertemente desarrollada, muy fina y fina; consistencia en muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espeso dentro y fuera de agregados y confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; nódulos abundantes muy pequeños y pequeños subangulares rojos blandos de óxido de hierro; poros pocos muy finos y finos continuos caóticos y tubulares; raíces comunes finas delgadas y medias; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno permeabilidad lenta. |
|--|----------------|---|

Tabla A 5. Propiedades físicas y químicas del perfil 5

| Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) | MO | CO | K | Ca | Mg | Na | Al | Acidez | Fe | Mn | CIC | PSB | CIC kg arc* | Arcilla | Limo | Arena | Textura |
|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------|-------|------|-------|-----|----------------|---------|------|-------|---------------------------|
| | rel. 1:2 | (%) | % | | | | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- | | | | | % | -----(-)%----- | | | | |
| Ap | 4.47 | 9.20 | 5.33 | 0.08 | 0.23 | 0.13 | 0.10 | 1.67 | 1.81 | 37.26 | 2.29 | 12.48 | 4.3 | 54.26 | 23 | 21 | 56 | Franco arcillo arenoso |
| A/B | 4.54 | 3.53 | 2.05 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 1.56 | 1.77 | 34.92 | 0.63 | 6.49 | 2.9 | 20.93 | 31 | 15 | 54 | Franco arcillo arenoso |
| Bt1 | 4.35 | 1.93 | 1.12 | 0.02 | 0.14 | 0.04 | 0.07 | 1.56 | 1.56 | 15.66 | 0.73 | 4.99 | 5.4 | 11.89 | 42 | 13 | 44 | Arcilloso |
| Btg | 4.51 | 1.00 | 0.6 | 0.02 | 0.27 | 0.10 | 0.07 | 2.39 | 2.39 | 5.94 | 0.37 | 4.99 | 9.2 | 10.39 | 48 | 11 | 40 | Arcilloso |

Figura A 6. Perfil representativo de la unidad: Acrisol Cutánico (Hiperdístico, Arcílico) ACct(hd,ce)

Fecha: 12 de junio del 2014
 Localidad: ejido Guadalupe Victoria, Huimanguillo.
 Localización: 42988 - 1950044
 Elevación: 60 mnsn
 Relieve: Lomerío inclinado
 Pendiente: 15 %
 Drenaje del sitio: Donador
 Drenaje del perfil: Bien drenado
 Material parental: Areniscas y lutitas del Terciario Mioceno (TmArLu) o Arenisca y conglomerado (Ar-Cgp) del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno
 Vegetación Cultivada: Hule (51 años)
 Vegetación nativa: Pastillo, escobillo, lecherio, lengua de vaca y gramíneas, cornezuelo, cafellio, corozo, guayacán
 Fauna: Mosquitos, arañas, comején, mariposas y hormigas.



| Perfil 6 | Horizontes (cm) | Descripción del perfil |
|----------|------------------------------|--|
| | Ap 0 - 15 | Transición, medio y ondulado; humedad, húmedo; color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4); textura migajón arcillo arenoso; pedregosidad, muy pedregoso del tamaño de grava, piedras pequeñas y medias redondas de conglomerados; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subgranular muy fina, finas y granular muy fina; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo pegajoso y plástico; poros numerosos, muy finos y finos, son continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, son tubulares intersticiales; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; fauna lombrices; nula reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | Bt1 15 - 33 | Transición, tenue y ondulado; humedad, húmedo; color rojo (2.5 YR 4/8); motas tenues, pocas y finas de color pardo fuerte (7.5YR 5/6); textura arcillo limoso; pedregosidad, muy poca del tamaño de grava redonda de conglomerados; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina y media; consistencia en húmedo, firme y en muy húmedo, pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de los agregados y confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros frecuentes, muy finos, finos y medianos, son continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, son tubulares; raíces comunes finas, delgadas y medias; nula reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. |
| | Bt2 33 - 59 | Transición, tenue y horizontal; humedad, húmedo; color rojo (2.5YR 5/8); motas marcadas, muy pocas y finas de color amarillo (10YR 7/8); textura arcillosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular fina y media; consistencia en húmedo firme y en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de los agregados y confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros frecuentes, muy finos, finos y medianos, son continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, son tubulares; raíces pocas finas delgadas y medias; fauna lombriz; nula reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta. |
| | Bt3 59 - 111 (101-122) | Transición, tenue y irregular; humedad, húmedo; color amarillo rojizo (5YR 6/8); motas marcadas, muchas, finas y medias de color amarillo (10 YR 7/8); textura al tacto, arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina, fina y medias; consistencia en húmedo, friable y en muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación continuos, moderadamente espesos y espesos dentro y fuera de los agregados y confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros frecuentes, muy finos, finos y medianos, son continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, son tubulares; raíces pocas, finas, delgadas y medias; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno permeabilidad moderada. |
| | C (101-122)- 150 | Húmedo; color rojo amarillento (5YR 5/8); motas marcadas, comunes, muy finas y finas de color amarillo (10YR 7/8), y motas prominentes, muy finas y comunes de color blanco (10YR 8/2); textura al tacto, arcilla limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina, fina y medias; consistencia en húmedo, firme y en muy húmedo, ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación discontinuos, moderadamente espeso dentro y fuera, confinados a los poros o canales de las raíces de arcilla; poros frecuentes, muy finos, finos y medianos, son continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, son tubulares; raíces raras, finas y delgadas; nula reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; permeabilidad moderada. |

Tabla A 6. Propiedades físicas y químicas del perfil 6

| Horizontes (cm) | pH (H ₂ O) | MO | CO | K | Ca | Mg | Na | Al | Acidez | Fe | Mn | CIC | PSB | CIC kg arc* | Arcilla | Limo | Arena | Textura |
|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|--------|--------|------|------|------|----------------|---------|------|-------|------------------------|
| | rel. 1:2 | (%) | % | | | | | -----cmol (+) kg ⁻¹ ----- | | | | | % | -----(%)------ | | | | |
| Ap | 4.34 | 6.73 | 3.90 | 0.18 | 2.33 | 0.62 | 0.05 | 1.04 | 1.15 | 103.92 | 4.93 | 7.99 | 39.8 | 26.63 | 30 | 19 | 51 | Franco arcillo arenoso |
| Bt1 | 4.39 | 1.67 | 0.97 | 0.05 | 0.16 | 0.10 | 0.08 | 2.29 | 2.29 | 12.58 | 0.37 | 5.49 | 7.1 | 9.15 | 60 | 16 | 24 | Arcilloso |
| Bt2 | 4.54 | 0.87 | 0.50 | 0.03 | 0.33 | 0.15 | 0.07 | 2.60 | 2.71 | 1.96 | 0.10 | 7.49 | 7.7 | 11.34 | 66 | 19 | 15 | Arcilloso |
| Bt3 | 4.59 | 0.47 | 0.27 | 0.03 | 0.27 | 0.17 | 0.07 | 2.60 | 2.50 | 0.54 | 0.07 | 7.99 | 6.8 | 14.26 | 56 | 21 | 23 | Arcilloso |
| C | 4.61 | 0.40 | 0.23 | 0.02 | 0.12 | 0.15 | 0.07 | 2.71 | 2.60 | 0.22 | 0.04 | 8.49 | 4.2 | 16.32 | 52 | 25 | 23 | Arcilloso |

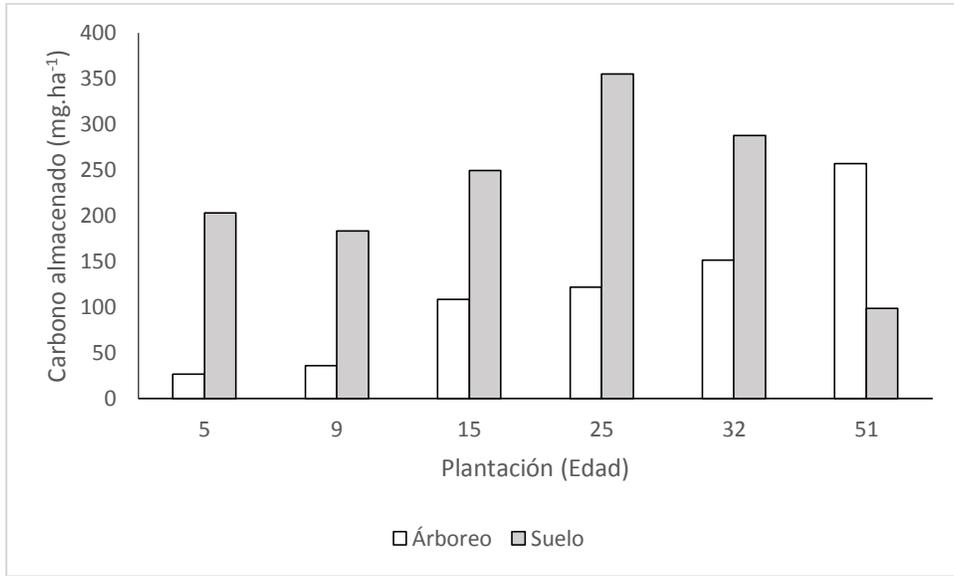


Figura A 7. Carbono almacenado total de la parte arbórea y del suelo