



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN SISTEMAS SUSTENTABLES DE PRODUCCIÓN EN
EL TRÓPICO

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN LOS
AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)
Y CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

JORGE LUIS ARENAS ARCIA

TESINA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE

MAESTRIA TECNÓLOGICA

H. CARDENAS, TABASCO, MÉXICO

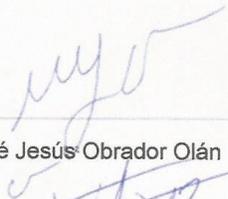
2013

La presente tesis, titulada: "Estimación de carbono orgánico del suelo en los agroecosistemas caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L. y *Theobroma cacao* L.)", realizada por el alumno: Jorge Luis Arenas Arcia, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRIA TECNÓLOGICA

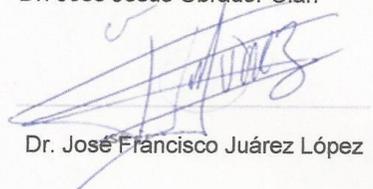
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. José Jesús Obrador Olán

ASESOR



Dr. José Francisco Juárez López

H. Cárdenas, Tabasco a 8 de julio de 2013

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN LOS
AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) Y CACAO
(*Theobroma cacao* L.)**

Jorge Luis Arenas Arcia
Colegio de Postgraduados, 2013

Para conocer el comportamiento de dos parámetros edáficos relacionados entre sí, materia orgánica (MO) y carbono orgánico soluble (COS) y en dos agroecosistemas contrastantes por su manejo, cacao y caña de azúcar, se tomaron muestras con barrena tipo holandesa a tres profundidades 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm y considerando cuatro repeticiones (por muestra), cada una de las muestras compuestas se conformó de 15 submuestras tomadas aleatoriamente y en zig-zag, abarcando todo el terreno. A las muestras se les preparó para realizarles análisis de MO y COS, según la metodología propuesta en la NOM-021-RECNAT-2000. Los contenidos promedio de MO para las tres profundidades (0-20; 20-40 y 40-60 cm) en el cultivo de caña y cacao fueron 2.16, 1.71 y 1.66%, y 2.86, 1.62 y 1.20% respectivamente, y en el COS en las tres mismas profundidades mostraron absorbancias de 0.3810, 0.2767, 0.2317 y de 0.4337, 0.2597, 0.1947 para caña y cacao, respectivamente. Contrastando uno y otro agroecosistema se observa que, el contenido de MO en cacao a la profundidad 0-20 cm, fue, estadísticamente, diferente contra las dos últimas profundidades de caña (que fueron iguales entre si) y en el COS, el cacao a la profundidad 0-20 cm, fue estadísticamente diferente contra las dos últimas profundidades de caña, pero a su vez, el contenido de COS en caña a la profundidad 0-20 cm, fue diferente estadísticamente a la última profundidad de cacao, 40-60 cm.

Abstract

To know the behavior of two interrelated soil parameters, organic matter (OM) and soluble organic carbon (SOC) and in two contrasting agro-ecosystems for their management, cocoa plantation and sugarcane samples were taken at three depths (0 - 20 cm, 20-40 cm and 40-60 cm) with auger Dutch type and considering four replicates (per sample), each of the composite samples was formed of 15 subsamples taken randomly and zig-zag, covering the entire field. The samples were prepared for analysis performs OM and SOC, according to the methodology proposed in the NOM-021-RECNAT-2000. The average content of OM for the three depths (0-20, 20-40 and 40-60 cm) in the cultivation of sugarcane and cocoa were 2.16, 1.71 and 1.66%, and 2.86, 1.62 and 1.20% respectively, and the SOC in the same three depths showed absorbance of 0.3810, 0.2767, 0.2317 and 0.4337.0.2597, 0.1947 for sugarcane and cocoa plantation, respectively. Either contrasting agro-ecosystems shows that the cocoa content of OM in the 0-20 cm depth was statistically different depths against the last two cane (which were equal to each other) and the SOC, the cocoa 0-20 cm depth, was statistically different to the last two cane depths, but in turn, the SOC content in sugarcane 0-20 cm depth was statistically different to the final depth of cocoa plantation, 40-60 cm.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco por haberme permitido concluir mis estudios de maestro tecnólogo.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por su valioso apoyo en la dirección para la realización de la presente tesina, su amistad y guía moral así como en la asesoría, consejos y comentarios.

Al Dr. José Francisco Juárez López, por su valioso apoyo moral y como los consejos por la revisión, sugerencia y comentarios de la presente tesina.

A la Dr. Eustolia García López, por su valioso apoyo, motivación y amistad así como como sus consejos, comentarios y sugerencia al presente trabajo.

Al Laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas del Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco por permitirnos la realización del análisis de los suelos de Caña y Cacao.

A mis compañeros de estudio: Santa, Jesús, Victoria, María Jesús, José Pablo y Miguel por su amistad y los momentos vividos durante el tiempo de conocernos.

A los profesores de la maestría tecnológica por sus conocimientos aportados en mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mis padres José Alfredo Arenas Palma (+) y Consuelo Arcia Flores por sus consejos, apoyo moral y ejemplo de rectitud en la vida.

A mi amada esposa Nora por su apoyo incondicional y motivación y consejos.

A mis hijos: Guadalupe Yoloth y Jorge David por ser la mejor bendición que Dios me ha dado y motivación de seguir superándome.

A mis hermanos: Rosa Margarita, Guadalupe, José Manuel, Lourdes (+) y María de Lourdes por sus consejos y apoyo moral en todo momento.

INDICE

Consejo particular	i
Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
Agradecimientos y dedicatoria	iv
Indice.....	v
Indice de Figuras y Cuadros.....	vi
1.- Introducción	1
1.1.- Descripción del sistema agrícola caña de azúcar	1
1.2.- Sistema agroforestal cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	2
1.3- arbono orgánico soluble.....	4
2.- Objetivo.....	6
3.- Hipótesis	7
4.- Materiales y Métodos	7
4.1 Área de estudio	7
4.2 Análisis estadístico.....	8
4.3.- Análisis de materia orgánica, método Walkey y Back.....	9
4.4.- Análisis del carbono orgánico soluble.....	10
5- Resultados y Discusión.....	11
6.- Conclusiones.....	16
Bibliografía	17

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE FLUJO Y ALMACENAJE DE CARBONO EN ECOSISTEMA FORESTAL.....	5
FIGURA 2. SITIO DE MUESTREO.....	8
FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DE MO CADA 20 CM Y HASTA 60 CM DE PROFUNDIDAD EN DOS AGROECOSISTEMAS: CAÑA DE AZÚCAR Y CACAO (P<0.05)	13
FIGURA 4. COMPORTAMIENTO DE COS CADA 20 CM Y HASTA 60 CM DE PROFUNDIDAD EN DOS AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR Y CACAO (P<0.05).	15
FIGURA 5. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES CARBONO ORGÁNICO SOLUBLE (COS) Y MATERIA ORGÁNICA (MO) EN LOS AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR Y CACAO.	16

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.- MATERIA ORGANICA (MO) Y CARBONO ORGANICO SOLUBLE (COS) EN SUELOS DE DOS AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR Y CACAO EN LA CHONTALPA TABASCO.....	12
CUADRO 2.- VALORES PROMEDIO DE MATERIA ORGÁNICA (MO) DEL SUELO Y P-VALOR PARA LOS AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR Y CACAO EN LA CHONTALPA, TABASCO	14
CUADRO 3.- VALORES PROMEDIO DE CARBONO ORGANICO SOLUBLE (COS) Y P- VALOR PARA LOS AGROECOSISTEMAS, CAÑA DE AZÚCAR Y CACAO	15

ESTIMACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN LOS AGROECOSISTEMAS CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) Y CACAO (*Theobroma cacao* L.)

I.- INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AGRÍCOLA CAÑA DE AZÚCAR

El cultivo de la caña de azúcar representa una actividad de gran importancia económica en el sector agrícola en el estado de Tabasco, México, donde la región de Chontalpa cuenta con 54,917 ha de Vertisoles cultivados mayormente con pastos y caña de azúcar (Armida-Alcudia *et al.*, 2005). En México se tienen sembradas 774,243 ha con esta última, con un rendimiento promedio de 69.6 t ha⁻¹, y en Tabasco 32,079 ha, con un rendimiento registrado para la última zafra de 48.8 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2011), este cultivo es de importancia económica en los municipios de Balancán, Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo y Tenosique.

El manejo intensivo, al cual se ha sometido a los suelos cañeros, ha provocado cambios en los procesos internos, así como en su estructura, lo cual ha ocasionado la degradación continua de su calidad productiva. Algunos parámetros afectados son: la acumulación de la materia orgánica, práctica que es interrumpida por la quema de residuos y la alteración de la densidad aparente por la entrada de maquinaria agrícola pesada para las labores de cosecha (Armida-Alcudia *et al.*, 2005). Los principales factores causantes de la degradación de suelos son su cambio de uso, la agricultura intensiva y el mal manejo de residuos orgánicos, en el caso de la caña por ejemplo, se realizan quemas que causan un alto índice de pérdida de la fertilidad (Sáenz *et al.*, 2007).

La identificación de indicadores de la calidad del suelo es una herramienta importante para conocer su sustentabilidad, permite evaluar procesos productivos y obtener índices con los cuales es posible reconocer problemas incluso antes que éstos lleguen a ser importantes, además de medir cambios en la calidad ambiental relacionados con el manejo de la agricultura, y conocer el funcionamiento de procesos importantes como la mineralización del carbono (C) y nitrógeno (N) (Bergstrom *et al.*, 1998).

El manejo que se da al agroecosistema caña de azúcar en la mayoría de las regiones cañeras de México implica baja sustentabilidad ambiental, pero mantiene una alta sustentabilidad social y económica (Carrillo, 2008). Los principales problemas se relacionan con la pérdida de materia orgánica (y la alta emisión de carbono) que se da en la quema y requema de la cosecha e inicio de ciclo, respectivamente (Obrador, 2009).

La acumulación de la materia orgánica en el suelo tiene muchas ventajas, la importancia de agregarla para mejorar la productividad del suelo fue detectada hace miles de años por los agricultores. En general, la fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que ocurren en el suelo, influye sobre sus características físicas y químicas, y es el centro de muchas de las actividades biológicas, incluyendo las de la microflora y la fauna (Fassbender y Bornemisza, 1994).

La materia orgánica (MO) mejora la productividad de los cultivos o plantaciones, los residuos orgánicos regulan las propiedades físicas, químicas y biológicas y da lugar a muchas interrelaciones positivas, es el mejor indicador de la calidad de un suelo (Cepeda, 1991; Larson y Pierce, 1991; Jarquin, 2006; Chavarriaga, 2002). La MO se encuentra separada en componentes vivos como son: raíces, macro y microorganismos (SáMendonca *et al.*, 2001); es fuente de energía y hábitat específico para la biomasa edáfica (Julca *et al.*, 2006); desafortunadamente se ve afectada, durante la cosecha y post-cosecha del cultivo de caña, ya que la quema propicia la erosión de la superficie terrestre, lo que provoca que su contenido disminuya (Burke *et al.*, 1989) disminuyendo, en consecuencia, la fertilidad y producción del cultivo; por ello, es necesario realizar diagnósticos oportunos de la fertilidad del suelo a través de análisis físicos, químicos y biológicos, siendo los más comunes la MO y sus componentes (Etchevers y Volke, 1991).

1.2.- SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (*Theobroma cacao* L.)

El cacao es originario de la cuenca del Amazonas, de la zona comprendida entre Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, donde se ha encontrado una mayor diversidad de genotipos. Por su origen y características genéticas, el cacao está clasificado en cuatro tipos: Criollo, Forastero Amazónico, Trinitario y Nacional de Ecuador (Paredes, 2009).

En México la superficie cultivada con cacao abarca 61,006 ha, siendo Tabasco (67.2%) y Chiapas (32.3%) los estados que sustentan prácticamente el total de la superficie, los rendimientos en estas entidades son de 0.32 y 0.41 t ha⁻¹, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2011), que son bajos respecto a los obtenidos años anteriores (0.6 t ha⁻¹), efecto que se atribuye a la aparición de una enfermedad fungosa conocida como moniliasis (*Moniliophthora roreri*), la cual ha agravado la situación competitiva a nivel mundial, del cacao nacional (Torres *et al.*, 2011).

En Tabasco el cacao se maneja como un sistema agroforestal (SAF cacao), lo que le confiere todas las ventajas que este tipo de sistema tiene para el mantenimiento de la sustentabilidad, sobre todo ambiental y social, ya que actúan como sumideros de CO₂ (Isacc *et al.*, 2005; van Straaten *et al.*, 2009), son nichos ecológicos de relevante importancia para la protección de aves, mamíferos y plantas y, sobre todo, son importantes desde el punto de vista económico y cultural para los productores de la entidad (Greenberg *et al.*, 2000; Ibarra y Estrada, 2001).

En su conjunto, la explotación cacaotera permite hacer un uso económico de todos sus componentes, comenzando con el establecimiento del huerto, donde pueden intercalarse árboles frutales y maderables, hasta el momento del estadio productivo en el que se realiza una explotación forestal a bajas intensidades, bien como madera para postería o como madera preciosa para la ebanistería (Ramírez, 1997; Asare, 2006; Sonwa *et al.*, 2007).

Las plantaciones de cacao de Tabasco presentan características de manejo peculiares aun dentro de los sistemas agroforestales, de hecho, el manejo que se efectúa en la actualidad ha cambiado poco en relación al que se hacía hasta antes de la llegada de los españoles (Córdova *et al.*, 2008), en este sistema las plantas de cacao interactúan con otras plantas de usos múltiples, preponderándose el uso de leguminosas (García, 1983; Ramírez, 2009). La mayoría de las plantaciones de cacao del estado de Tabasco son viejas, contienen mezclas de variedades, tienen problemas fitosanitarios importantes y prácticamente no se les realizan aplicaciones de nutrimentos (Ramírez, 2009; Sánchez, 2012), de manera que las entradas para el suministro de nutrimentos del suelo se da casi totalmente por el aporte de hojarasca al sistema y el N que fijan las leguminosas, plantas abundantes en el agroecosistema cacao (Alonso, 1987).

La producción de cacao en el estado de Tabasco es una actividad profundamente arraigada en la cultura agraria y popular, se tiene una gran base de conocimiento tradicional y por estar altamente fraccionada depende grandemente de la organización familiar, sin embargo, este sector productivo ha permanecido por mucho tiempo en un estado de marginación (INEGI, 2006; Córdova *et al.*, 2008). Los pequeños productores cacaoteros de la región Chontalpa producen el 97% del volumen de cacao del estado de Tabasco, en el 98% de la superficie plantada (Ramírez *et al.*, 2009).

Lo anterior resalta la importancia de evaluar la sustentabilidad de esta actividad debido al valor que tiene para la economía, el medio ambiente y la cultura regional. Aunque estos problemas requieren soluciones integrales, en la actualidad, la mayor parte de los trabajos relacionados con el cacao tratan, de forma disciplinaria y segmentada, los diversos aspectos que conforman los problemas que enfrentan los productores locales (Priego-Castillo *et al.*, 2009).

Los indicadores de la calidad edáfica son parámetros de sus propiedades químicas, físicas y biológicas, son sensibles a las perturbaciones y representan el desempeño de la función del ecosistema en el suelo de interés. Son propiedades dinámicas con variaciones espaciales y temporales (Doran y Parkin, 1996).

El manejo de los agroecosistemas establece la importancia que tiene el estudio de los parámetros mencionados, ya que debe existir un balance entre entradas y salidas de nutrimentos pero además, es importante considerar que la materia orgánica del suelo juega un rol especial en el mantenimiento de su fertilidad química, física y biológica (Labrador, 1996; Geissen y Morales, 2005).

1.3.- CARBONO Y CARBONO ORGÁNICO SOLUBLE

El carbono (C) forma el “esqueleto” de todas las sustancias orgánicas. Su ciclo se interrelaciona estrechamente con los ciclos del oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y Azufre (S). Las plantas asimilan C generalmente en forma inorgánica (CO₂) y lo convierten en azúcar por medio de la fotosíntesis (Figura 1). Esta glucosa es luego transformada en una diversidad de compuestos orgánicos. Mediante la respiración celular de plantas, animales y la descomposición de la sustancia vegetal el carbono regresa a su estado inicial CO₂ (Gregorich yJanzen, 1996).

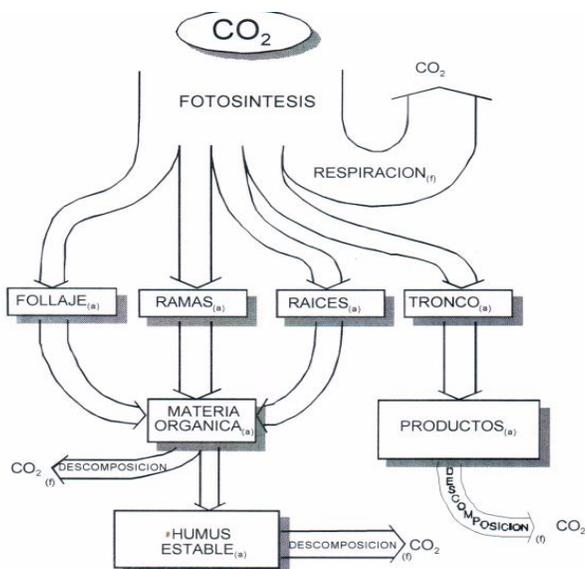


Figura 1. Diagrama simplificado de flujo y almacenes de carbono en un ecosistema forestal (Fuente: Ordóñez y Masera, 2001)

El Carbono orgánico del suelo (COS) se encuentra en forma de residuos orgánicos (poco alterados) de vegetales, animales y microorganismos, como humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental.

En condiciones naturales, el C orgánico del suelo (COS) resulta del balance entre la incorporación de material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera, erosión y lixiviación.

Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo (55 Pg C año⁻¹ a nivel global) es lábil y se mineraliza rápidamente y una pequeña fracción se acumula como humus estable (0.4 Pg C año⁻¹) (FAO, 2001). El CO₂ emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la MOS, donde participa la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también por el metabolismo de las raíces de las plantas (Martínez *et al.*, 2008). El COS es el elemento que forma parte de la MOS, por esto es común que ambos términos se confundan, los métodos de estimación COS y que la MOS se estima a partir del COS a través de fórmulas.

El carbono orgánico Soluble del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69.8% del C orgánico de la biosfera. El suelo puede actuar

como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo. Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo, se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial. La pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus de suelos no perturbados, por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivo convencionales, es una fuente de CO₂ para la atmósfera (FAO, 2002).

Galvis y Etchevers (1996) mencionan que el COS está relacionado significativamente con el nitrógeno lábil que potencialmente se mineraliza. La fracción de carbono soluble del suelo, cuyo valor no supera generalmente los 200 mg de C kg⁻¹ de suelo, constituye el carbono orgánico disponible en formas rápidamente utilizables como fuente de nutrición y energía por microorganismos heterótrofos para llevar a cabo actividades como la fijación de nitrógeno, desnitrificación e inmovilización de nutrientes, entre otros. El carbono orgánico soluble está estrechamente asociado con las tendencias de mineralización del nitrógeno, así como la concentración del carbono soluble tiene una relación directa y proporcional con la fracción de materiales de fácil descomposición que posee la materia orgánica del suelo (Alejo, 2007).

Existen prácticas agronómicas que favorecen la captura de Carbono orgánico del suelo. La labranza de conservación, que incluye la cero labranza, es un sistema de manejo de suelos que tiene una alta capacidad potencial para secuestrar COS en el suelo. El carbono orgánico del suelo, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, vinculadas con su calidad, sustentabilidad y capacidad productiva, por lo que en un manejo sustentable debe mantenerse o aumentarse. Sin embargo, establecer una clara relación de dependencia entre el COS y la productividad del suelo es complejo (Eswaran *et al.*, 1993).

2.- OBJETIVOS

- Estimar la materia orgánica, a tres profundidades, en los agroecosistemas caña de azúcar y cacao
- Estimar el carbono orgánico soluble, a tres profundidades, en los agroecosistemas caña de azúcar y cacao

3.- HIPÓTESIS

- Los contenidos de materia orgánica en las tres profundidades son más altos en el agroecosistemas cacao vs caña de azúcar.
- Los contenidos de carbono orgánico soluble en las tres profundidades son más altos en el agroecosistema cacao vs caña de azúcar.

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.- Área de estudio

El trabajo de campo se realizó en el mes de Octubre de 2012, en el Campo Experimental del Campus Tabasco, cuya ubicación geográfica corresponde a las siguientes coordenadas 18°04'42.09" latitud norte y 93°21'05.85 longitud oeste, y está ubicado en el kilómetro 21 de la carretera federal Cárdenas-Coatzacoalcos (Figura 2). El clima predominante es tropical (cálido-húmedo), de acuerdo con el sistema de Köppen se clasifica como Am(g)"w", con lluvias abundantes en el verano y sequías prolongadas en los meses de marzo-abril, se presentan nortes a finales del año, la temperatura media durante el año es de 26°C, con poca variación; en el municipio de Cárdenas la estación meteorológica representativa de la zona tiene registradas precipitaciones promedio anuales de 2324 mm, en los meses secos (marzo y abril) caen menos de 50 mm mensuales y cerca de 400 mm en los dos meses lluviosos (septiembre y octubre) (García, 1988).

El suelo en estudio es un Vertisol gleyi estagnico que pertenece a una zona de llanura aluvial baja, la cual ocupa una superficie de 516.647 ha, fisiográficamente constituye una extensa área plana de origen aluvial del Cuaternario reciente, los sedimentos que la conforman son profundos y fueron acarreados de la Sierra de Chiapas por numerosos ríos y arroyos que surcan la zona (Palma *et al.*, 2007; Juárez *et al.*, 2011).

El agroecosistemas caña de azúcar se volvió a reincorporar al cultivo después de un descanso de cinco años, no obstante, ambos caña y cacao tienen aproximadamente 30 años, en uno y otro se tomaron muestras con barrena tipo holandesa a tres profundidades 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, cada una de las muestras compuestas se conformó de 15 submuestras tomadas aleatoriamente y en zig-zag, abarcando todo el terreno, por cada profundidad se consideraron tres repeticiones. A las muestras

se les preparó para realizarles análisis de Materia orgánica (MOS) y carbono orgánico soluble (COS), según la metodología propuesta en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

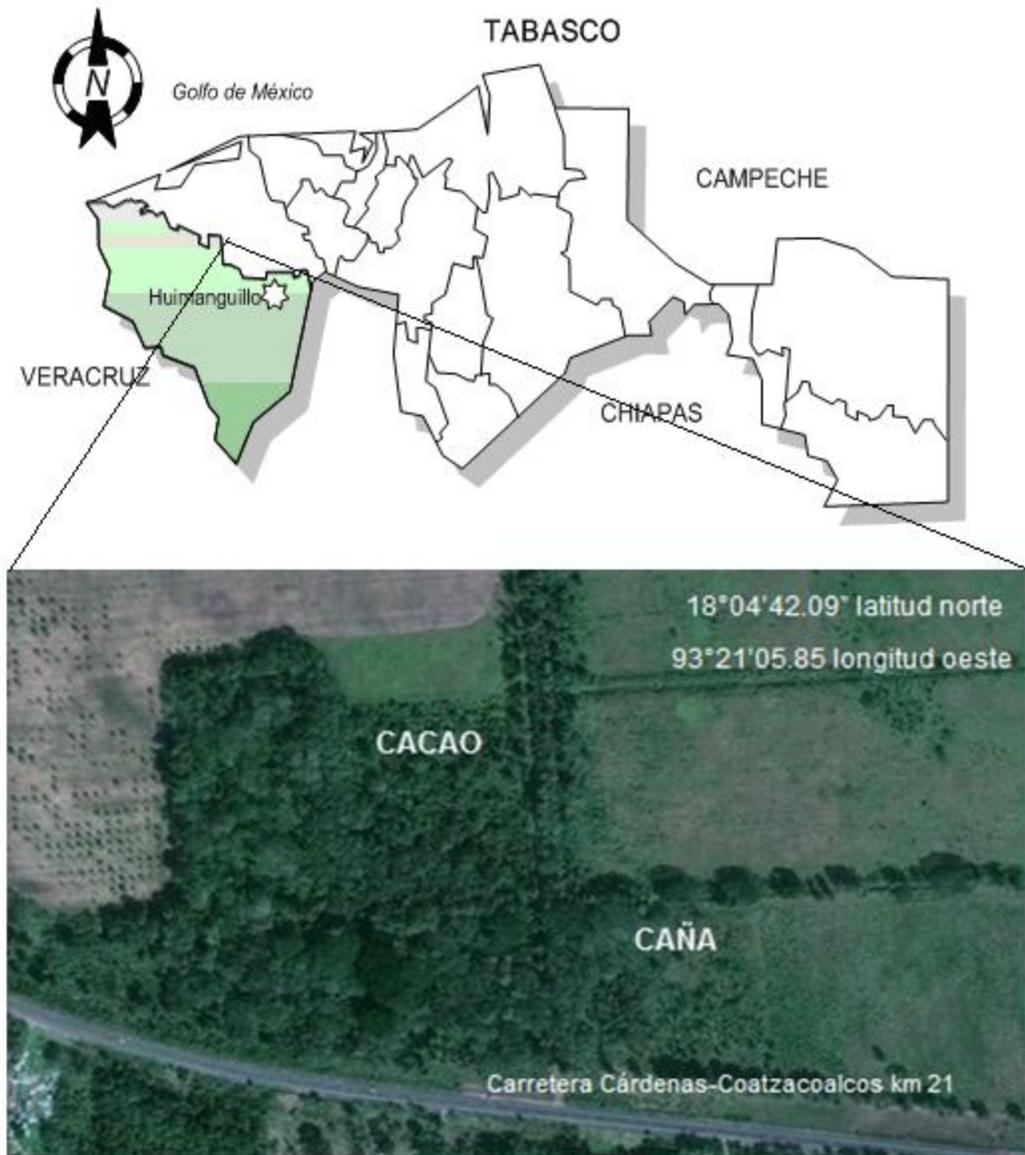


Figura 2. Vista aérea de los sitios de muestreo en los agroecosistemas caña de azúcar y cacao en la Chontalpa, Tabasco. (Google Earth).

4.2.- Análisis estadístico

Los resultados fueron contrastados a través de un análisis de la varianza y una prueba de medias (T de Student) que se realizó utilizando el paquete estadístico SAS.

4.3.- Análisis de la materia orgánica, método Walkley y Black

Las muestras de suelo tomadas a 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm, fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, para su análisis y cálculos respectivo de MO y COS. Fueron tamizadas con un tamiz del número 10 y pesadas en una balanza analítica para proceder a realizar los análisis respectivos mediante el procedimiento indicado para el cálculo de MO

4.3.1.- Reactivos

Dicromato de potasio 1.0 M: Disolver 49.032 g de $K_2Cr_2O_7$ en agua y aforar a 1 L.

Sulfato ferroso 0.5 N: disolver 140.00 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en 250 mL de agua, adicionar 15 mL de H_2SO_4 concentrado, enfriar a temperatura ambiente y aforar a 1 L con agua, o puede usarse sulfato férrico amónico.

Sulfato férrico amónico 0.5 N: disolver 196 g de $Fe (NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ en 800 ml de agua que contengan 20 mL de H_2SO_4 concentrado, completar a 1 L con agua.

Indicador de difenilamina: Disolver 0.5. g de $(C_6H_5)_2NH$ en 20 mL de agua y 100 mL de H_2SO_4 concentrado.

Ácido sulfúrico concentrado. H_2SO_4

Ácido fosfórico concentrado. H_3PO_4

4.3.2.- Material y equipo

Matraz Erlenmeyer de 500 mL

Bureta de 25 mL

Pipeta volumétrica de 10 mL

Probeta de 50 mL

4.3.3.- Procedimiento

De cada una de las muestras, 18 en total, de los agroecosistemas caña de azúcar y cacao, se pesaron exactamente 0.50 Mg de suelo y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, se añadieron 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ con pipeta volumétrica o con bureta y se agitaron, con una probeta se añadieron 10 mL de ácido sulfúrico H_2SO_4 , concentrado, se agitaron cuidadosamente durante un minuto y se dejan reposar 30 minutos o hasta que se enfriaron. Se añadieron 200 mL de agua destilada, se agitaron y se dejaron enfriar, agregando 10 mL ácido fosfórico concentrado H_3PO_4 , se agregaron 2 mL de fluoruro de sodio y 25 gotas de indicador de difenilamina $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ sal de Mohr 0.5 N fresco. Este material se oxida con facilidad y cambia su normalidad. Si el consumo de la solución ferrosa en la titulación de la muestra fue menor que 4 mL, se repitió la determinación con una muestra más pequeña, ya que es probable que la oxidación de la materia orgánica en esta muestra de suelo no haya sido completa.

La presencia de materiales reductores como cloruro, hierro ferroso, manganeso, etc., dan resultados altos. Si se sospecha la presencia de cloruros en el suelo, añadir al ácido sulfúrico 25 g L^{-1} de sulfato de plata.

Para hacer la valoración de la solución de sulfato ferroso, se corre una prueba en blanco (todos los reactivos, sin suelo) y se obtiene el valor de B de la siguiente ecuación, el $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potasio) es una sustancia patrón primaria por lo que la titulación del blanco sirve para estandarizar simultáneamente al reductor. Con el empleo de la fórmula siguiente no es necesario calcular específicamente la normalidad. Se agregan 25 g de fluoruro de sodio en un matraz de 500mL y se afora.

4.3.4.- cálculos

$$\% \text{ M.O.} = 10 (B-1 \underline{M}) \times 1.34$$

M= mL de sulfato ferroso gastados en la muestra problema

B= mL de sulfato ferroso gastados en el blanco

El factor 1.34 se deduce de la siguiente forma

$$(1.0 \text{ N}) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times \frac{100}{0.5} = 1.34$$

1.0= normalidad del $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

12/400= peso miliequivalente del carbono

1.72= factor de transformación de carbón en materia orgánica (MO)

0.77= factor de recuperación del 77% determinado por Walkey

0.5= peso de muestra

Si el peso de la muestra analizada es diferente a 0.5 g se sustituye el peso del suelo analizado en la ecuación anterior para encontrar el factor correspondiente para calcular el porcentaje de MO.

4.4.- Análisis del carbono orgánico soluble

Se procedió a pesar 2.5 g de suelo seco al aire y tamizado con una malla, No. 10, se colocó en un tubo de polipropileno para centrifuga de 100 ml, y se agregaron 50 ml de bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5 (recién preparado). Se Agitó por 30 minutos a 180 rpm, se filtró inmediatamente a través de papel Whatman No. 42.

Se tomó y colocó en un matraz volumétrico de 25 ml una alícuota de 5 ml y se aforó con agua destilada; la lectura de la muestra se realizó en un espectrofotómetro en el intervalo ultravioleta de 260 nm. Se usó celda de cuarzo; los resultados se expresan unidades de absorbancia.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos en los análisis de MO y COS que se realizaron a los suelos de los dos agroecosistemas y en las tres profundidades, los contenidos promedio de materia orgánica para las tres profundidades (0-20; 20-40 y 40-60 cm) en el cultivo de caña fueron 2.16, 1.71 y 1.66%, respectivamente, todos estos valores caen dentro de los contenidos medios (NOM-021-RECNAT-2000, 2002), los que no es extraño, ya que, aunque el suelo había tenido caña de azúcar anteriormente, había pasado por un descanso de cinco años antes de ser reincorporado a la actividad agrícola. A este respecto la FAO (2002) indica que las principales formas de obtener un incremento de la materia orgánica en el suelo están

asociadas a la agricultura de conservación, a la rotación de cultivos, a la labranza mínima o cero y al uso de una cobertura vegetal (continua o de relevo) protectora formada por materiales vegetales vivos o muertos sobre la superficie del suelo.

Cuadro 1.- Materia orgánica (MO) y Carbono orgánico soluble (COS) en suelos de dos agroecosistemas caña de azúcar y cacao.

Agroecosistema	Repetición	Profundidad	MO (%)	COS (Abs)
Caña	1	0-20 cm	2.144	0.325
	2	20-40 cm	1.712	0.281
	3	40-60 cm	1.712	0.235
	1	0-20 cm	1.546	0.360
	2	20-40 cm	1.546	0.255
	3	40-60 cm	1.629	0.217
	1	0-20 cm	2.792	0.458
	2	20-40 cm	1.882	0.294
	3	40-60 cm	1.629	0.243
Cacao	1	0-20 cm	2.696	0.365
	2	20-40 cm	1.546	0.250
	3	40-60 cm	1.225	0.173
	1	0-20 cm	3.288	0.508
	2	20-40 cm	1.505	0.319
	3	40-60 cm	1.069	0.215
	1	0-20 cm	2.601	0.428
	2	20-40 cm	1.797	0.210
	3	40-60 cm	1.304	0.196

Por su parte los contenidos promedio de materia orgánica encontrados en cacao, en las tres profundidades fueron: 2.86 (0.20 cm), 1.62 (20-40 cm) y 1.20% (40-60 cm) valores que están en el orden de medios (0-40 cm) y bajos (40-60 cm) (NOM-021-RECNAT-2000, 2002). La disminución de la MO se da conforme incrementa la

profundidad, diversos autores han reportado este comportamiento en el sistema agroforestal cacao (Alonso, 1987; Jobbágy and Jackson, 2001; Ramírez, 2009; Sánchez, 2012) y lo atribuyen al mayor aporte de MO por parte de la hojarasca en relación a aportes importantes que existen también, por parte de la biomasa radical.

En la Figura 3 y Cuadro 2, se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico realizado a los valores de contenidos de MO encontrados en las tres profundidades, es notorio que dichos valores no mostraron, en general, diferencias estadísticas entre agroecosistemas e incluso entre profundidades, solo en la primera profundidad del agroecosistema cacao, que es igual al de la primera de la caña, pero diferente a todas las demás ($P < 0.05$). Siendo el cacaotal un sistema en que el aporte de hojarasca es tan notoriamente importante, se esperaría encontrar valores más altos de MO, aunque Fassbender *et al.* (1991) reporta valores de medios a altos en cacaotales con diferentes tipos de sombra y edades (cinco y diez años). Los valores de MO del cultivo de caña son un reflejo de suelos descansados; de manera general, en suelos cañeros de la Chontalpa, éstos tienden a ser bajos (Armida *et al.*, 2005), la quema y requema que se da en la pre y postcosecha son el principal problema en la disminución de la MO y, en general, de la fertilidad, física, química y biológica (Obrador, 2009).

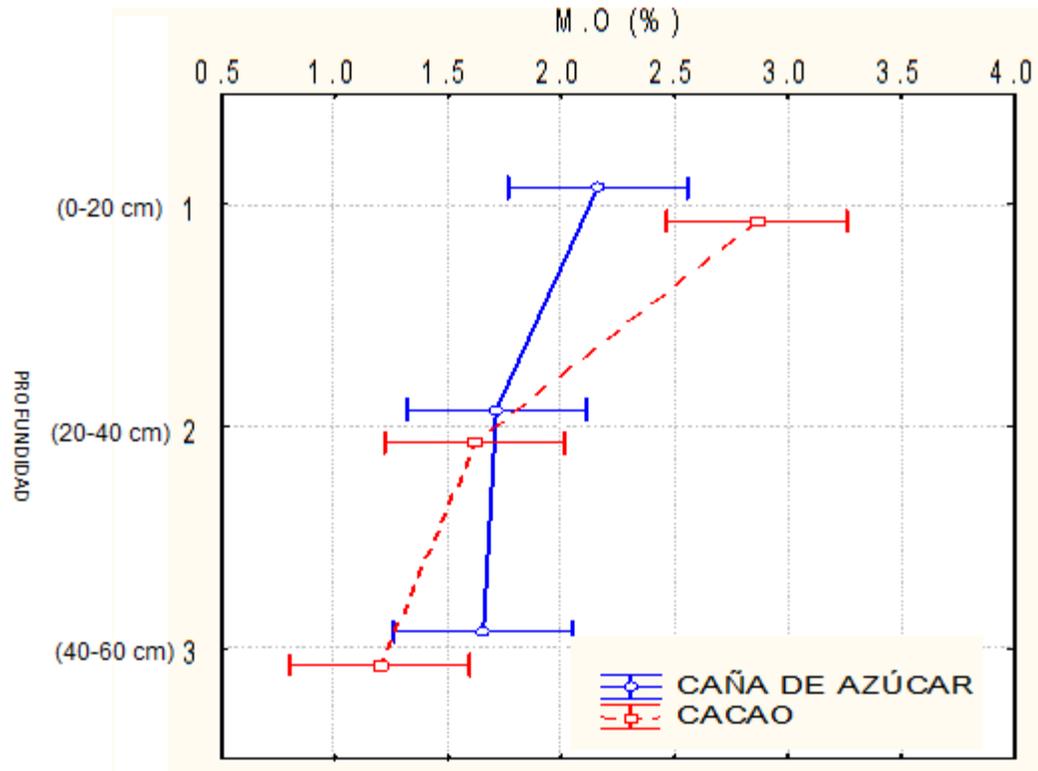


Figura 3.- Comportamiento de materia orgánica cada 20 cm, hasta 60 cm de profundidad en dos agroecosistemas: caña de azúcar y cacao ($p < 0.05$).

Cuadro.- 2. Valores promedio de materia orgánica (MO) y p-valor para los agroecosistemas, caña de azúcar y cacao.

AGROECOSISTEMA		CAÑA			CACAO	
PROF. (cm)	MO (%)	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40
0-20 (caña)	2.1606	p-valor				
20-40 (caña)	1.7135	0.5353				
40-60 (caña)	1.6566	0.4164	0.9999			
0-20 (cacao)	2.8618	0.1409	0.0079	0.0055		
20-40 (cacao)	1.6160	0.3412	0.9987	0.9999	0.0042	
40-60 (cacao)	1.1992	0.0266	0.3967	0.5131	0.0004	0.6025

En la Figura 4 y Cuadro 3 se muestra el comportamiento del COS en los agroecosistemas caña de azúcar y cacao a tres profundidades (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm); encontrándose diferencias estadísticas entre la primera y la tercera profundidad en ambos agroecosistemas. El cacao, de hecho, muestra diferencias entre la primera y las otras profundidades, tal como se pudo observar para MO; no obstante que en caña no se observaron diferencias estadísticas entre profundidades para MO, si la hay para COS entre la primera y la tercera profundidad, este último parámetro es más sensible para estimar los cambios en la mineralización del carbono y es considerado un buen indicador de la actividad de la fauna edáfica (Smethurst, 2000; Leenheer y Croué, 2003; Abera *et al.*, 2012).

PROFUNDIDAD

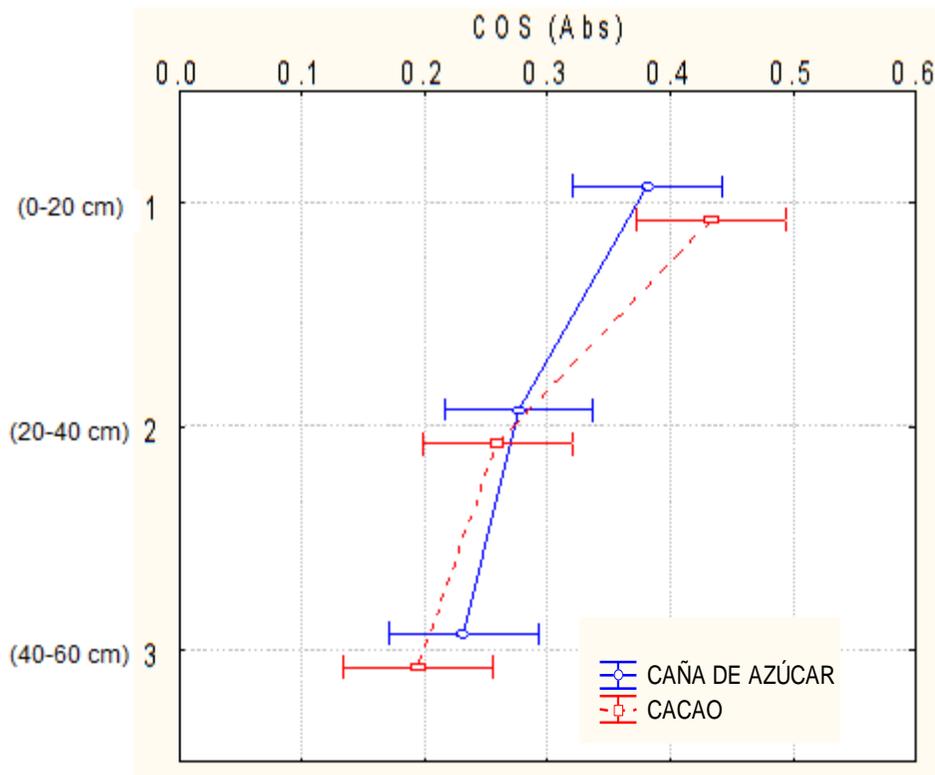


Figura 4.- Comportamiento del carbono orgánico soluble cada 20 cm, hasta 60 cm de profundidad en dos agroecosistemas: caña de azúcar y cacao ($p < 0.05$).

Cuadro 3.- Valores promedio de carbono orgánico soluble (COS) y p-valor para los agroecosistemas, caña de azúcar y cacao

AGROECOSISTEMA		CAÑA			CACAO	
PROF. (cm)	COS (ABS)	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40
0-20 (caña)	0.3810	p-valor				
20-40 (caña)	0.2767	0.157962				
40-60 (caña)	0.2317	0.024083	0.854292			
0-20 (cacao)	0.4337	0.760142	0.017355	0.002717		
20-40 (cacao)	0.2597	0.079186	0.997625	0.976883	0.008446	
40-60 (cacao)	0.1947	0.005072	0.355960	0.928138	0.000738	0.584012

En la Figura 5 se observa que existe una fuerte correlación en la variable MO y COS en los dos agroecosistemas caña de azúcar y cacao ($R^2=0.86$), la evaluación del carbono orgánico soluble es una prueba rápida de laboratorio que, dada su alta correlación con la MO, puede ser estimada a través de la medición del COS, que es un excelente y rápido indicador de la calidad del suelo (Haynes, 2000; Simonsson *et al.*, 2005).

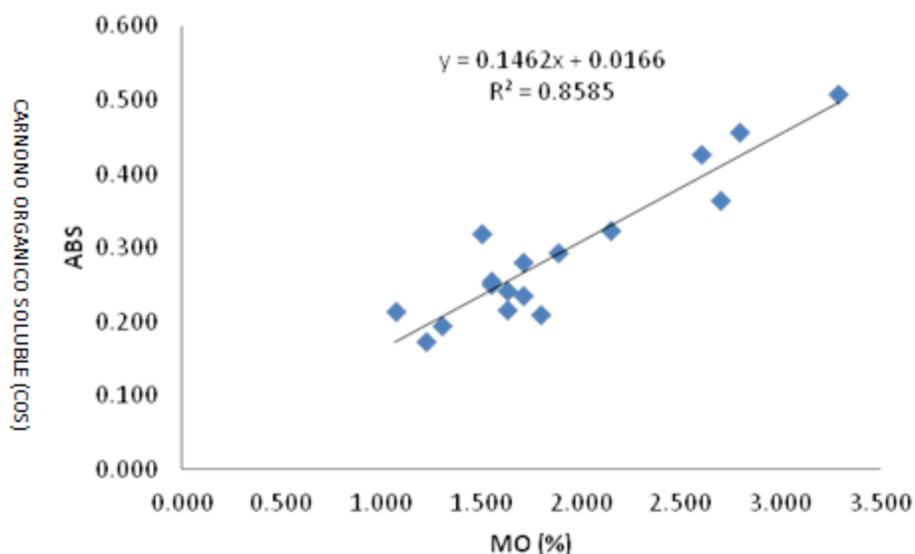


Figura 5.- Matriz de correlación de las variables carbono orgánico soluble (COS) y materia orgánica (M.O) en los agroecosistemas caña de azúcar y cacao.

6.- CONCLUSIONES

El contenido de MO en el agroecosistema cacao a 0-20 cm de profundidad, fue diferente estadísticamente al de sus otras profundidades y el del agroecosistema caña fue estadísticamente igual en todas sus profundidades. Contrastando uno y otro agroecosistema se observa que, el contenido de MO en cacao a la profundidad 0-20 cm, fue, estadísticamente, diferente contra las dos últimas profundidades de caña, 20-40 y 40-60 cm.

El contenido de COS del agroecosistema cacao a 0-20 cm de profundidad, fue diferente estadísticamente al de sus otras profundidades y el de agroecosistema caña presentó sólo diferencia estadística entre la primera y la última profundidad. Contrastando uno y otro agroecosistema se observa que, el contenido de COS en cacao a la profundidad 0-20 cm, fue estadísticamente diferente contra las dos últimas profundidades de caña, pero a su vez, el contenido de COS en caña a la profundidad 0-20 cm, fue diferente estadísticamente a la última profundidad de cacao, 40-60 cm.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abera G., Wolde-Meskel E., Sheleme B. and Bakken L.R. 2012. Nitrogen mineralization dynamics under different moisture regimes in tropical soils. *International Journal of Soil Science* 7(4):132-145.
- Alejo S.G. 2007. El carbono soluble como indicador de calidad química de materia orgánica. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados. Montecillo Edo. de México. 103 p.
- Alonso V. R. 1987. Contribución de la hojarasca al ciclo de nutrientes, dinámica nutrimental de las hojas. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 70 p.
- Armida-Alcudia L., Espinosa-Victoria D., Palma-López D.J., Galvis-Spinola A. y Salgado-García S. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana* 4: 545-551.

- Asare R. 2006. A review on cocoa agroforestry as a means for biodiversity conservation. Paper presented at World Cocoa Foundation Partnership Conference Brussels, May 2006 Centre for Forest, Landscape and Planning Denmark. 24 p.
- Bergstrom D.W., Monreal C.M. and King D.J. 1998. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1286-1295.
- Burke I.C., Yonker C.M., Parton W.J., Cole C.V., Flach K. and Schimel D.S. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 800-805.
- Carrillo A.E., Vera E.J., Alamilla M.J.C., Obrador O.J.J. y Aceves N.E. 2008. Como aumentar el rendimiento de caña de azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco Estado de México, México. 101p.
- Cepeda D.J.M., 1991. Química de suelos. UAAAN. 2° edición. Ed. Trillas. Mexico, pp. 43-64. ISBN: 968-24-4032-7.
- Chavarriaga M.W. 2002. Características y dinámica de la MO en algunos suelos de agroecosistema andinos en Colombia. Tesis doctoral. Universidad Agraria de la Habana, Universidad de Caldas, Manizales-Colombia.
- Córdova A.V., Mendoza-Palacios J.D., Vargas-Villamil L., Izquierdo-Reyes F. y Ortiz-García C.F. 2008. Participación de las organizaciones campesinas en el acopio y comercialización del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, Mexico. *Universidad y Ciencia* 24(2): 147-158.
- Doran J.W. and Parkin T.B. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones (eds) *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Eswaran H., Van Den Berg E. and Reich P.F. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 192–194.
- Etchevers B. J.D. 1984. Análisis químicos de suelos y plantas. Centro de Edafología, Colegio de posgraduados, Montecillo México. 204 p.
- Etchevers B.J.D. y Volker H.V. 1991. Generación de tecnología mejorada para pequeños productores. Serie Cuadernos de Edafología 17. CEDAF-Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. De México. 46p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos, No 96. París, Francia". 83 p. Roma Italia.
- Fassbender H. y Bornemisza E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2da edición. San José de Costa Rica 420 p.
- Galvis E.A. y Echevers B.J.D. 1996. El carbono soluble como indicador de la calidad del suelo. P. 31. En: Ordaz-Chaparro V., Alcántar González M., Castro, Barrales, C. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Sociedad de la Ciencia del Suelo. Ciudad de Obregón, Sonora México.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta. Edic. Edit. Indianápolis. D. F. México. 246pp.
- García L.J.L., 1983. Los árboles utilizados como sombra de cacao (*Theobroma cacao* L) en Comalcalco, Tabasco. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Geissen V. and Morales G.G. 2005. Fertility of tropical soils under different land use systems-a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology* 31: 169–178.
- Greenberg R., Bichier P. and Cruz A.A. 2000. The conservation value for birds of cacao plantations with diverse planted shade in Tabasco, Mexico. *Animal Conservation* 3: 105-112.
- Gregorich E.G., and Janzen H.H. 1996. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. Carter MR, Stewart BA (Eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis publishers. Boca Raton Florida. 167-192.
- Haynes R. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*. 32 (2): 211-9.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática). 2006. Anuario estadístico del estado de Tabasco. Serie por entidad federativa. <http://www.inegi.gob.mx>.
- Ibarra M. A. y Estrada M. A. 2001. Avifauna asociada a dos cacaotales tradicionales en la región de la Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 17 (34): p. 101-112.

- Isaac M. E., Gordon A. M., Thevathasan N., Oppong S. K. y Quashie S. S. J. 2005. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*. 65: p. 23-31.
- Jarquín S. A. 2006. Determinación de materia orgánica y nitrógeno en suelos tropicales por espectroscopia de infrarrojo cercano y quimiometría. Tesis Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. 129p.
- Jobbágy E.G. and Jackson R.B. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry* 53: 51–77.
- Juárez L.J.F., Zavala C.J., Salgado G.S., Palma L.D.J., Obrador O.J.J., García, L.E., López C.A., Shirma T.E., Galmiche T.A., Solana, V.N., de la Cruz P.A. 2011. Diagnóstico de la Microrregión de atención prioritaria: Huimanguillo. Colegio De Postgraduados, Campus Tabasco. 73 p.
- Julca O. A., Meneses F.L. Blas S.R. y Bello A.S. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESIA (Chile). Vol. 24 N°1. Pp. 49-61.
- Labrador M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Coedición. Ministerio De Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 174 p.
- Larson W. E. and Pierce F. J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. pp. 175-203. In: evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol 2. IBSRAM Proc. 121 (2). Thailand Int. Board for soil Res. And Management, Bangkok.
- Leenheer J.A., and J.P. Croué. 2003. Characterizing dissolved aquatic organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 37:18A–26A.
- Martínez E.H., Fuentes E.J.P. y Acevedo H.E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8 (1): 68-96.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 85p.
- Isaac M.E., Gordon A.M., Thevathasan N., Oppong S.K. and Quashie-Sam J., 2005. Temporal changes in soil carbon and nitrogen in West African multistrata

- agroforestry systems: a chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems* (2005) 65:23–31.
- Obrador O.J.J. 2009. Labores culturales en el cultivo de caña de azúcar. In: Veldez B.A., Guerrero P.A., García L.E., Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México. p. 22-25.
- Ordóñez, J.A.B. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1):3-12
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J.A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Paredes A.N. 2009. Manual de producción de cacao. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) Orellana Ecuador. 25 p.
- Priego-Castillo G.A., Galmiche-Tejeda A., Castelán-Estrada M., Ruiz-Rosado O. y Ortiz-Ceballos A.I. 2009. Evaluación de la sustentabilidad de dos sistemas de producción de cacao: estudios de caso en unidades de producción rural en Comalcalco, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 25(1):39-57.
- Ramírez D. F. J. 1997. Sistema agroindustrial Cacao en México y su comportamiento en el mercado. UACH, Chapingo, México. 34 p.
- Ramírez M. A. 2009. Diversidad florística y macrofauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis Maestría en Ciencias- Colegio de Postgraduado Campus, Tabasco. 86 p.
- SaMendonca E., da Costa S.A., de Lemos M.M. y Ferreira F.F.M. 2001. Carbono orgánico por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. *Agrociencia* 35(4):397-406.
- Sonwa D. J., Nkongmeneck B. A., Weise S. F., Tchatat M., Adesina A. A., Akin A. y Janssens M. J. J. 2007. Diversity of plants in cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodivers Conserv.* 16: p. 2385-2400.

- Sánchez, G.F. 2012. Recursos maderables en el sistema agroforestal cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis Maestría en Ciencias-Colegio de Posgraduados Campus, Tabasco. 89 p.
- Sáenz R.J.T., Jiménez O.J., Gallardo V.M., Villaseñor R.F.J. y Bravo E.M. 2007. Sistemas agroforestales: una alternativa para la reconversión de suelos forestales en cuencas hidrológicas. Extenso en: Congreso nacional y reunión mesoamericana de manejo de cuencas hidrográficas. UAQ, INE, FIRCO, Red mesoamericana en recursos bióticos. INIFAP, CONAZA, CONCYTEQ, Gobierno del estado de Querétaro, WWF, CIPREDA, USAID. Querétaro, Qro. 8 p
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)-SAGARPA. 2011. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=184. 07/11/13.
- Simonsson, M., K. Kaiser, F. Andreux and J. Ranger. 2005. Estimating nitrate, dissolved organic carbon and DOC fractions in forest floor leachates using ultraviolet absorbance spectra and multivariate analysis. *Geoderma*. 124:157–168.
- Smethurst P.J, 2000. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: A review. *For. Ecol. Manage.* 138: 397–411.
- Torres de la C.M., Ortiz-García, C.F., Téliz O.D., Mora A.A., and Nava D.C. 2011. Temporal progress and integrated management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) of cocoa in Tabasco, Mexico. *Journal of Plant Pathology* 93 (1): 31-36.
- Van Straaten O.E., Veldkamp, M., Köhler and Anas I. 2009. Drought effects on soil CO₂ efflux in a cacao agroforestry system in Sulawesi, Indonesia *Biogeosciences Discuss.* 6: 11541–11576.