



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**EVALUACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CACAO (*Theobroma cacao*  
L.) Y CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) A TRAVÉS DE  
INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO**

**GUILLERMINA PASCUAL CÓRDOVA**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2013

La presente tesis titulada: Evaluación del agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum spp*) a través de indicadores de la calidad del suelo, realizada por la alumna: Guillermina Pascual Córdova, bajo la dirección del consejo particular indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

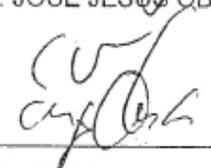
PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA DEL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

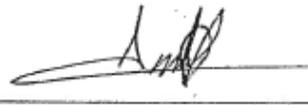
CONSEJERO

  
DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR

  
DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

ASESOR

  
DR. SAÚL SÁNCHEZ SOTO

ASESOR

  
DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR

  
DR. CARLOS FREDY ORTIZ GARCÍA

H Cárdenas Tabasco, México, 12 de Abril de 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser el centro de mi vida, el que me ha dado la oportunidad de ser, estar y sobre todo de existir, gracias por permitirme dar, amar y crecer.

Al pueblo de México que a través del CONACYT me otorgo el apoyo económico durante la realización de mis estudios de postgrado dentro del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Al FIDEICOMISO por el apoyo económico que me otorgo y a la Línea de Investigación N° 2: Agroecosistema Sustentable por su apoyo para la realización de la investigación, logrando concluir con el estudio para obtener el grado de Maestra en ciencia.

Al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, forjador de maestros y doctores, quien tiene la misión de transformar el campo mexicano en beneficio del pueblo de México, cuyo Comité Académico en turno autorizo mi ingreso como estudiante.

A mis asesores académicos, al Dr. José Jesús Obrador Olán por su amistad, cariño, consejos, apoyo incondicional y confianza durante la realización de mi investigación. Al Dr. Saúl Sánchez Soto, Dr. Eugenio Carrillo Ávila, Dr. Armando Guerreño Peña, Dr. Carlos Fredy Ortiz García, quienes asesoraron brillantemente mi desarrollo académico durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Gracias doctores por tenerme la confianza para graduarme.

A mi esposo y amigo Eduardo Capetillo Concepción. Con quien viví esta experiencia y siempre con su amor me animaba a seguir adelante y concluir con este proyecto de vida.

A la comunidad del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, tanto académico, administrativos y personal de campo. En especial al Sr. Esteban Osorio Gamas, quien labora en el laboratorio de LASPA del Campus Tabasco, quien con paciencia y amistad me enseñó y me ayudó con mis análisis de las muestras en el laboratorio. Al Sr. Mario Domínguez de la Cruz quien me apoyó en todo momento con el trabajo de campo y

nunca me dejó sola. Muchas gracias por apoyarme cuando los he necesitado además por brindarme su amistad, son unos grandes señores.

A los Doctores encargados de los laboratorios de LASPA, Herbario y de Entomología. Por facilitar sus instalaciones para la realización de esta investigación.

A mi familia Pascual Córdova por estar siempre a mi lado apoyándome y brindándome su amor sincero, ya que gracias a su esfuerzo, juntos hemos llegado hasta este punto de mi carrera.

A mis amigas Marlene García Peñate, Évelin De La Cruz Landero y Joanna María Zapata Pérez, gracias por su cariño y respeto, por estar siempre conmigo en cualquier momento de mi vida, por las cosas hemos vivimos y he aprendido de ustedes y porque han hecho que mi vida sea aun más feliz al tener su amistad.

A mis compañeros del PROPAT 2011-2012: Eduardo, Gloria, Cristabel, Maricela, Alfredo, Leticia, Angélica, Verónica, Miriam, Jesús Manuel, Alex, Carlos, Ernesto, Raquel, Beatriz, Rosalba, Roberto, Jesús, Pascual, Jenner, Verónica, José Luis, Cristel, Blanca, Verónica,

A mis amigos y compañeros de estudio: Eduardo, Gloria, Leticia, Cristabel, Maricela, Alfredo, Angélica, Verónica, Facundo, Maritza.

Al señor Juan del C-34, por haberme permitido realizar mi investigación en su parcelas y por todas la facilidades otorgadas, gracias.

A todas aquellas personas que por el momento se me escapan de la memoria y que contribuyeron en alguna forma en mi proyecto de Maestría. Muchas gracias por ello.

## DEDICATORIA

*A Dios*

*Por darme una nueva oportunidad de vivir con fe y esperanza y por permitirme sentir su grandiosa existencia e inmenso amor por nosotros.*

*A mi esposo.*

*Eduardo Capetillo Concepción.*

*Por el amor mutuo que nos une,*

*Por ser parte fundamental en mi vida*

*Porque además de ser esposos seguimos siendo amigos*

*Por su amor, comprensión, cariño, confianza e incondicional apoyo en la culminación de este proyecto.*

*A mis padres.*

*Martin Pascual de la Cruz y Dominga Córdova Córdova,*

*Por ser los cimientos de mi vida, gracias por su apoyo y por sacrificar comodidades para que sus hijos lograran superarse en la vida, sin importar que dejaran de ocupar una cosa para ofrecerlo a nosotros, les amo mis viejitos.*

*A mis hermanos.*

*Adolfo, Enedina, Jaime, mil gracias a cada uno de ustedes por las enseñanzas que me dan día a día, porque siempre están pendiente de mi, por hacerme sentir bien, por su apoyo moral y económico en todo momento, por su paciencia y también por la confianza que han depositado en mí, gracias los quiero mucho.*

*A mis sobrinos.*

*Joselin Mayrani, Jesús del carne, Jaime Alonso, Martín Adolfo,*

*Mis angelitos gracias por enseñarnos, la inocencia de su alma*

*Por ser la luz de mi vida, mis alegría,*

*Y por transmitir paz en los momentos que los tengo a mi lado.*

*A mis suegros.*

*Por adoptarme como una hija más en su familia,*

*Por demostrarme ese cariño que me tienen,*

*Por su apoyo en la culminación de este proyecto.*

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>6</b>
1.2.1.1. OBJETIVOS PARTICULARES .....	6
<b>1.2.2. HIPÓTESIS</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>7</b>
1.3.1. EL AGROECOSISTEMA CACAO ( <i>Theobroma cacao</i> L.).....	7
1.3.1.1. Origen y distribución.....	7
1.3.1.2. Clima y altitud .....	8
1.3.1.3. Suelos adecuados para el agroecosistema cacao .....	9
1.3.1.4. Morfología de la planta de cacao .....	10
1.3.1.5. Raíz.....	10
1.3.1.6. Tallo .....	10
1.3.1.7. Hojas.....	10
1.3.1.8. Flores y fruto.....	11
1.3.2. EL AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum</i> spp).....	11
1.3.2.1. Origen y distribución.....	12
1.3.2.2. Clima y altitud .....	13
1.3.2.3. Suelos adecuados para el agroecosistema caña de azúcar .....	13
1.3.2.4. Morfología de la caña de azúcar .....	14
1.3.2.5. Raíz.....	14
1.3.2.6. Tallo .....	14
1.3.2.7. Hoja.....	14

<b>1.4. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (<i>Theobroma cacao</i> L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN ÉPOCA SECA Y HÚMEDA .....</b>	<b>23</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>24</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
2.2.1. Área de estudio .....	29
2.2.2. Fase 1: Caracterización de la unidad de suelo .....	31
2.2.3. Fase 2: Diagnóstico nutrimental de suelos .....	31
2.2.4. Fase 3. Determinación de los indicadores químicos y biológicos para la evaluación del agroecosistema .....	32
2.2.5. Análisis de datos .....	34
2.2.6. Fase 4. Determinación de la distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR) .....	35
<b>2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
2.3.1. Caracterización de la unidad de suelo.....	36
2.3.2. Diagnóstico nutrimental del suelo.....	36
2.3.3. Indicadores químicos y biológicos para evaluar el sistema agroforestal cacao (SAF cacao) .....	40
<b>2.4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>2.5. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO Y SU ESTABILIDAD ESTACIONAL EN ÉPOCAS SECA Y HÚMEDA.....</b>	<b>61</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>62</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>63</b>

<b>3.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>68</b>
3.2.1. Área de estudio .....	68
3.2.2. Fase 1: Caracterización de la unidad de suelo .....	70
3.2.3. Fase 2: Diagnostico nutrimental de suelos .....	70
3.2.4. Fase 3: Determinación de los indicadores químicos y biológicos para la evaluación del agroecosistema .....	71
3.2.5. Diseño experimental y tratamientos.....	72
3.2.6. Fase 4: Determinación de la distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR) .....	73
<b>3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>75</b>
3.3.1. Caracterización de la unidad de suelo.....	75
3.3.2. Diagnóstico nutrimental del suelo.....	78
3.3.3. Indicadores químicos y biológicos para la evaluar el agroecosistema de caña de azúcar81	
3.2.3.1. Nitrógeno (N) .....	81
3.2.3.2. Carbono orgánico (CO).....	82
3.2.3.3 Fósforo (P) .....	83
3.2.3.4. pH.....	84
3.2.3.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) .....	86
3.2.3.6. Bases intercambiables .....	87
3.2.3.7. Carbono orgánico soluble (COS) .....	90
<b>3.4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>3.5. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE FIGURA

Figura 1.1. Cinturón tropical, donde se desarrolla y cultiva el cacao (PRODESOC, 2006).....	8
Figura 1.2. Distribución mundial de la producción de la caña de azúcar (Díaz, 2002).....	12
Figura 2.1. Ubicación del área de estudio.....	29
Figura 2.2. Mapa de geomorfología donde se ubica el área de estudio, Fuente: Elaboración propia con base a Microrregión de Atención Prioritaria 2011 .....	30
Figura 2.3. Cubos metálicos utilizados para la extracción de las muestras .....	33
Figura 2.4. Descripción del perfil edáfico en el agroecosistema cacao.....	38
Figura 2.5. a) Comportamiento de la textura y b) Comportamiento de los componentes orgánicos en el perfil del Cambisol endogléyico (CMgin), en la parcela de estudio en cacao .....	39
Figura 2.6. Comportamiento de la materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), carbono orgánico soluble (COS) y nitrógeno (N) del suelo en la época seca y húmeda en el agroecosistema cacao.....	41
Figura 2.7. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), Potasio (K), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) del suelo en época seca y húmeda en el agroecosistema cacao.....	44
Figura 2.8. Comportamiento del Fosforo (P) y pH del suelo en la época seca y húmeda, en el agroecosistema cacao.....	45
Figura 2.9. (a,b,c,). Comportamiento de la macrofauna (Clase) en el suelo en las épocas seca y húmeda de la plantación de cacao estudiada .....	49
Figura 2.10. Densidad de longitud de raíces finas (<3mm) en el SAF cacao cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal: F (7,48)=0.92447, P=0.49605 las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).....	50
Figura 3.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	68
Figura 3.2: Mapa de geomorfología donde se ubica el área de estudio, Fuente: Elaboración propia con base a Microrregión de Atención Prioritaria 2011 .....	69

<b>Figura 3.3. Diseño de cubos metálicos utilizados para la extracción de muestras de suelos para la clasificación taxonómica de los organismos .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 3.4. Descripción del perfil edáfico en el agroecosistema caña de azúcar..</b>	<b>76</b>
<b>Figura 3.5. Comportamiento de los contenidos de Nitrógeno en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal: F (7,48)=.55520, p=.78808. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95) .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 3.6. Comportamiento de los contenidos de carbono orgánico en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal: F (7,48)=.26026, p=.96620. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 3.7. Comportamiento de los contenidos del Fosforo, en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal: F (7,48)=16.042, p=.00000. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95) .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 3.8. Comportamiento del pH en el agroecosistema caña de azúcar en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal: F (7,48)=1.0935, p=.38239. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 3.9. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal: F (7,48)=3.5962, p=.00343. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 3.10. Comportamiento de los contenidos de las bases intercambiables, en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm).....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 3.11. Comportamiento del carbono orgánico soluble en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), Efecto principal para arena (A): F (7,48)=2.4158, p=.03339. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 3.12. Comportamiento de la macrofauna (Clase) en el suelo, en las épocas seca y húmeda del agroecosistema de caña de azúcar .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 3.13. Densidad de longitud de raíces finas (&lt; 3mm) en el agroecosistema de caña de azúcar, en ocho profundidades tomadas cada 20 cm (0-160cm), efecto principal F (7,48)=97.787, p=0.0000 las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95). .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Características edáficas de los suelos aptos para el agroecosistema de cacao según FEDECACAO (2010) .....	9
Cuadro 2.1. Métodos utilizados en cada uno de los análisis químicos de suelo ..	32
Cuadro 2.2. Tratamientos estudiados para los indicadores químicos .....	34
Cuadro 2.3. Propiedades químicas de un Cambisol endoglético (CMgin), a dos profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm, (NOM-021-RECNAT-2000).....	39
Cuadro 2.4. Matriz de correlación entre los diferentes parámetros químicos estudiados en un Cambisol endoglético (CMgin).....	46
Cuadro 3.1. Métodos utilizados en cada uno de los análisis químicos de suelo ..	71
Cuadro 3.2. Tratamientos estudiados para los indicadores químicos .....	73
Cuadro 3.3. Propiedades químicas de un Vertisol Estágnico (VRst) (Éútrico), a dos profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm, tomadas con barrena tipo Holandesa	80
Cuadro 3.4: Textura de un Vertisol Estágnico (VRst) (Éútrico), a dos profundidades tomadas con barrena tipo Holandesa.....	80
Cuadro 3.5. Matriz de correlación entre los diferentes parámetros químicos estudiados en el agroecosistema caña de azúcar .....	91

## INTRODUCCIÓN GENERAL

## 1.- INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de los agroecosistemas cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp) a través del tiempo se ha visto disminuida por diversos factores, entre los que destaca el manejo irracional de insumos (falta o excesos de; fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, etc), el uso inadecuado de prácticas de manejo (barbecho, rastra, quema y requema), los cuales también han afectado la fertilidad natural del suelo (Salgado *et al.*, 2003; PRODESOC, 2006).

El cultivo de cacao cuenta en México y Tabasco con una superficie plantada de 61,006 y 41,027 ha, y una producción de 21,388 y 13,156 t, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2012). Por su parte, la caña de azúcar cuenta, a nivel nacional y en el estado de Tabasco, con una superficie cultivada de 774,243 y 32,079 ha y una producción de 49,735,273.26 y 1,437,264.44 t de tallos molederos, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2012).

Dentro de los agroecosistemas, la edad, uso del suelo, el manejo de pre y post-cosecha, pueden modificar los contenidos de materia orgánica y su fertilidad (Wardle, 1995; Lavelle y Spain, 2001). La materia orgánica es importante en el equilibrio de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; favorece el reciclaje de nutrimentos y mejora la estructura del mismo, lo que permite que exista una mejor; aireación, filtración del agua, penetración de raíces y, absorción de los nutrientes minerales esenciales para la planta (Sánchez y Logan, 1992; López, 1994; Altieri, 2002). La materia orgánica es un excelente sustrato para el crecimiento y desarrollo de la macro y microfauna edáfica; organismos esenciales para la mineralización de la materia orgánica (Lavelle *et al.*, 2006).

La macrofauna está compuesta por organismos de más de 2 mm de longitud, que se mueven activamente a través del suelo y pueden elaborar galerías, en las cuales viven (Bouché, 1977), este componente enriquece el suelo con sus deyecciones, secreciones y con sus propios cadáveres; las deyecciones ayudan a formar la microestructura del suelo y, sobre todo, sirven en su aireación, la actividad de otros organismos impide la volatilización del nitrógeno que, al quedar en el suelo está disponible para la planta (Cabrera y Crespo, 2001).

El nitrógeno es un nutriente esencial que debe estar disponible para que sea aprovechado (Dahnke y Johnson, 1990), se encuentra en el suelo de forma orgánica y pasa a la inorgánica soluble ( $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ ) principalmente gracias a la biomasa macro y microbiana aerobia heterótrofa (Stanford y Smith 1972). Si no se tiene un balance de las reservas orgánicas del nitrógeno en el agroecosistema, el equilibrio del mismo es muy frágil y puede perderse fácilmente como consecuencia del uso intensivo del suelo y el mínimo reciclaje de los residuos orgánicos (Gálvis y Hernández, 2004); en este sentido, la fertilización nitrogenada destaca como una buena práctica de manejo en los cultivos, sobre todo en caña de azúcar (Vitti *et al.*, 2007; FONCITT, 2003).

La importancia social y económica que tiene el agrosistema caña de azúcar obliga a realizar trabajos de investigación que permitan mejorar el ambiente. Aquí hay que destacar dos formas, el uso racional de los fertilizantes y la disminución de las quemadas y requemadas. Las dosis de fertilización deben estar de acuerdo con el rendimiento potencial del cultivo. La mayor adopción del corte en forma mecánica debe disminuir el uso del fuego en la cosecha pero, de manera general, no es así, los productores piensan que esta labor disminuye el ataque de las plagas y no alcanzan a vislumbrar el efecto nocivo del fuego sobre los contenidos de MO y fauna edáfica (Lopez *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2008; Obrador, 2009; Junqueira *et al.*, 2010; Salgado *et al.*, 2010).

Para conocer la frecuencia de invertebrados edáficos en caña de azúcar, Lango *et al.*, (2011) encontraron en caña 37% (proporción de individuos  $\text{m}^{-2}$ ) de macrofauna de un total de 1537 invertebrados, a profundidad de (0-10 y 10-20 cm), los organismos que más predominaron fueron del orden Himenóptera (hormigas, 279 individuos), Isóptera (Termitas, 138 indiv.), haplotaxida (lombriz de tierra, 55 indiv.), esto en caña persistente (20 años de edad) y menos población de macrofauna en caña reciente (6 años establecida). Pero en los agroecosistemas también existe macrofauna nociva; en caña, Marquez *et al.*, (2009) observaron que las termitas subterráneas afectan a la biomasa radical, por falta de MO (fuente de celulosa) en el suelo se han adaptado para hospedarse y realizar funciones vitales debajo del suelo, y utilizar el sistema radical como alimento, el porcentaje de presencia de termitas en la raíz es de 20 %, 30 % y 62 % de acuerdo a la variedad, con la humedad y cierre del follaje, las termitas se movilizan del

suelo para afectar la parte basal del tallo (87.4 y 97.2 % de presencia y 9.5 y 11.7 % de tallos dañados). Este organismo provoca pérdidas de 0.45 y 0.22  $\text{tha}^{-1}$  (Bastida *et al.*, 2011). Sobre el sistema radical, se puede mencionar que es importante por el papel que desempeña en la nutrición y sosten de la planta; la función primordial que cumple, es la acumulación de biomasa en el follaje, flores, tallos y en las raíces mismas (Villegas, 2010). Estudios sobre el sistema radical son muy pocos por varios factores: suelos muy pesados que no permitan la extracción fácilmente, o porque resulte tedioso (Azevedo *et al.*, 2011; Chopart *et al.*, 2009). Sin embargo, algunos autores como Bastida, (2011) indican que de un total 257 y 284 raíces (muestreadas a 0-30 cm de profundidad), el 94 % pertenece a las raíces finas (variedad B80-408), independientemente del número de cortes realizados; después de seis cortes de cuatro meses, se encontró un número de raíces finas de 72 a 175 (67 a 94 %), después de tres cortes de ocho meses, un número de raíces finas de 150 a 361 (57 a 79 %) y después de dos cortes de 16 meses un número de raíces finas de 216 a 326 (55 a 72 %). La mayor cantidad de raíces finas significó, un efecto positivo en toneladas por hectáreas de materia verde.

El agroecosistema cacao ha sido, durante muchos años, una fuente importante de ingresos y, por su manejo tradicional (sistema agroforestal) de éstos se obtienen ingresos, no sólo por la venta del grano de cacao, sino también de la de madera, fruta, especies etc., además, los ingresos se dan a lo largo del año, lo que evita que existan periodos críticos para el productor y su familia (PRODESOC, 2006; Sánchez, 2012). Diversos estudios han puesto de relieve lo anterior, es por eso que se han realizado estudios sobre la mejora de las plantaciones (Palencia *et al.*, 2006; Duguna *et al.*, 1999), la innovación y transferencia de tecnología para la producción de cacao (FONCITT, 2003; Taylor, 2005; González, 2005) y sobre su importancia para el almacenamiento del carbono (Ortiz *et al.*, 2008); los estudios sobre la calidad de los suelos cacaoteros mediante indicadores de sustentabilidad son muy pocos y, generalmente, han sido realizados en otros países (Cerdas, 2008).

Tomando en cuenta lo anterior, y la importancia social, económica y ambiental de estos cultivos se realizó este estudio, con la finalidad de aportar conocimientos sobre el estado en que se encuentran los agroecosistemas cacao y caña de azúcar a través de

indicadores de la calidad de suelo en Tabasco y así contar con herramientas que favorezcan la producción.

## **1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Estimar el comportamiento de los agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp) a través de indicadores de la calidad de suelo durante dos época del año.

#### **1.2.1.1. OBJETIVOS PARTICULARES**

Estimar la fertilidad química de los agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp), en dos épocas del año.

Conocer la abundancia de la macrofauna del agroecosistema cacao y caña de azúcar en dos épocas del año.

Estimar la distribución de densidad de longitud de raíces finas (DLR) en el agroecosistema cacao y caña de azúcar en dos épocas del año.

### **1.2.2. HIPÓTESIS**

La fertilidad química edáfica de los agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp), se comporta de la misma manera en las dos épocas del año.

En cualquiera de los dos agroecosistema estudiados, la macrofauna edáfica es mayor, en la época húmeda.

La distribución horizontal de la densidad de longitud de raíces finas, en el suelo cacaotero y cañero se encuentra en los primeros 50 cm de profundidades del suelo.

### **1.3. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **1.3.1. EL AGROECOSISTEMA CACAO (*Theobroma cacao* L.)**

Las plantaciones de cacao en Tabasco están asociadas con una alta diversidad de especies, entre ellas, hay una gran cantidad de interacciones, sobre todo positivas pero también, las hay negativas y neutras. Dentro del cacaotal se intercalan árboles de leguminosas, así como otros frutales, maderables, ornamentales, hortícolas etc., que proporcionan a la planta de cacao sombra y contribuyen a la mejora de la fertilidad del suelo con el aporte de hojarasca, raíces, ramas, troncos, etc. Además, el productor puede obtener de las especies asociadas al cacaotal productos que puede vender para obtener algunos recursos económicos (James *et al.*, 2008).

##### **1.3.1.1. Origen y distribución**

La planta de cacao tiene sus orígenes en América, algunos autores lo ubican en América del sur, en las zonas de la amazonia (Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Venezuela) (Isla, 2009), en donde se encontraba de forma natural en zonas boscosas. Antiguamente en México, los aztecas utilizaban el cacao como bebida, en esta cultura se ubica el origen de su nombre científico *Theobroma*, que significa bebida de los Dioses (Isla, 2009), fue utilizado además, como moneda de cambio, con él podían hacer las compras de los productos, su domesticación se adjudica a la cultura maya (PRODESOC, 2006). Después de que el cacao fue llevado por los españoles a Europa, pasaron 20 años para que tomara importancia y convertirse en uno de los productos más populares del mundo: el chocolate. Los países que tienen mayor producción de cacao convencional son: Costa de Marfil y Ghana, aunque el agroecosistema se encuentra distribuido en todo el cinturón tropical (Figura 1.1) el cual abarca países como: México, el Salvador, Guatemala, Costa Rica, Honduras, República Dominicana, Panamá, Jamaica, Nicaragua, Granada, las Antillas, Brasil, Ecuador, Bolivia, Colombia, Perú, Venezuela, Camerún, Nigeria, Madagascar, Santo Tomás, Príncipe, Indonesia, Sri Lanka, Malasia, Samoa y Nueva Guinea.

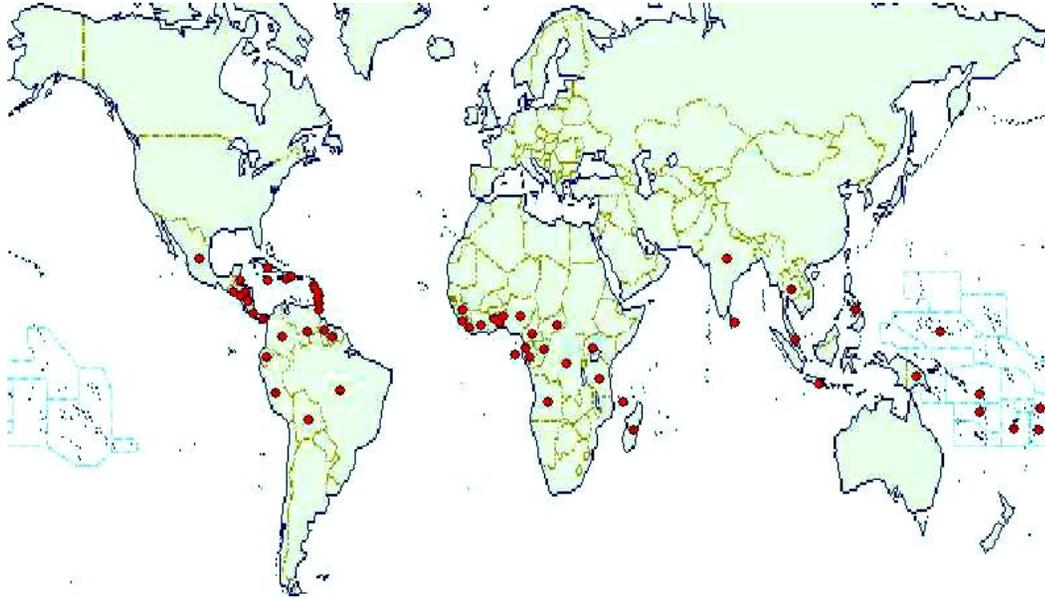


Figura 1.1. Cinturón tropical, donde se desarrolla y cultiva el cacao (PRODESOC, 2006)

En México se cuenta con una superficie sembrada de cacao de 61,006 ha, de las cuales se tiene una producción de 21,388 t, con un rendimiento de  $0.352 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP-SAGARPA. 2012). En el estado de Tabasco se cuenta con una superficie de 41,027 ha, con una producción de 13,156 t, logrando un rendimiento de  $0.320 \text{ t ha}^{-1}$  (SIAP-SAGARPA. 2012).

### 1.3.1.2. Clima y altitud

El agroecosistema cacao, se desarrolla adecuadamente en climas Am, que comprende altitudes que van de 4 a 800 y 1 000 a 1 300 msnm, para que el cacao tenga un buen crecimiento, floración, fructificación y brotación vegetativa la temperaturas debe estar entre  $23^{\circ}\text{C}$  y  $28^{\circ}\text{C}$  y las precipitaciones deben estar en el intervalo de 1 500-2 500 mm anuales (Vázquez *et al.*, 2004). Las regiones tropicales donde crece y se desarrolla el cacao se encuentran entre los  $20^{\circ}$  de latitud norte y sur, pero entre los  $10^{\circ}\text{N}$  y  $10^{\circ}\text{S}$  se encuentran las principales regiones productoras (Aceves, 2010).

### 1.3.1.3. Suelos adecuados para el agroecosistema cacao

El cacao perteneciente a la familia Sterculiaceae y se desarrolla adecuadamente en suelos pertenecientes a los grupos mayores como los Fluvisoles, Cambisoles y Vertisoles.

Los Fluvisoles no presentan limitaciones para el desarrollo del agroecosistema cacao; son suelos de textura media, profundos, con alta capacidad de intercambio catiónico, planos y con buen abastecimiento de nutrientes. Los Cambisoles están considerados como suelos en desarrollo, su concentración de arcilla aumenta conforme incrementa la profundidad, son suelos de textura media. Los Vertisoles presenta textura arcillosa, estructura fuertemente desarrollada, se reconocen fácilmente porque en la época seca presentan grietas de hasta tres centímetros de ancho, que van desde la superficie hasta los 60 cm de profundidad, retienen humedad en la época húmeda (Palma *et al.*, 2007; Palma *et al.*, 2010), otras características de los suelos donde se desarrolla el cacao se muestran en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Características edáficas de los suelos aptos para el agroecosistema de cacao según FEDECACAO (2010)

	Uso	Potencial del	Cacao
<b>Parámetros técnicos.</b>	Condiciones óptimas.	Condiciones intermedias	Condiciones marginales bajo o sin potencial.
<b>Textura</b>	Franca; franco-arcillosa	Franco arenosos	Arenosos arcilloso
<b>Profundidad (m)</b>	1.5	1.2-1.5	<1.2
<b>Ph</b>	6.0-6.5	5.0-6.0; 6.5-7.5	<5.0; >7.5
<b>Piedras y gravas (%)</b>	0-5	5-15	>15
<b>Drenaje</b>	Bueno	Moderado	Deficiente
<b>Inundación</b>	Ninguna	Temporal	Frecuente
<b>Nivel freático máximo (m)</b>	1.2	1.0-1.2	<1.0
<b>Pendiente (%)</b>	0-9	9-25	30

#### **1.3.1.4. Morfología de la planta de cacao**

Es recomendable que la planta de cacao cuente con un tamaño de 3 a 4 m de altura, para así facilitar las actividades que se practique al cultivo, sin poda la planta puede alcanzar una altura de más de 20 m. Su primera candelero la desarrolla cuando alcanza un metro y medio de altura, aquí surgen de 3 a 6 ramas principales formando el piso principal del árbol y se distingue de las demás ya que en esta horqueta se desarrolla la mayor producción de la planta (PRODESOC, 2006; Avendaño *et al.*, 2011).

#### **1.3.1.5. Raíz**

Presenta una raíz principal “pivotante” que puede crecer más de un metro de profundidad dependiendo del tipo de suelo, su principal función es sostener a la planta de cacao. Cuenta con muchas raíces secundarias distribuidas alrededor del tronco a poca profundidad, entre los 20 y 30 cm, la función de estas raíces es la captación de los nutrientes que se encuentran en el suelo y que están disponibles para la planta, los cuales necesita ésta para desarrollarse y producir (PRODESOC 2006; Isla, 2009).

#### **1.3.1.6. Tallo**

La planta de cacao puede tener dos tipos de tallo, dependiendo de su forma de crecimiento: el ortotrópico tiene un crecimiento recto, vertical, las plantas que lo presentan provienen de semillas o plantas francas (híbridos y segregantes de híbridos) y las formas de desarrollo pueden variar de acuerdo a las condiciones ambientales: El tallo plagiotrópico presenta un crecimiento horizontal o lateral, este desarrollo se presenta en plantas producidas por injerto (Isla, 2009; Avendaño *et al.*, 2011)

#### **1.3.1.7. Hojas**

Son alargadas, medianas, maduras tienen coloración verde oscura en el haz y verde pálido en el envés, son moradas o rojizas cuando son tiernas dependiendo de la variedad. Poseen unas estructuras especiales conocidas como “pulvinulos”, que son

abultamientos que se ubican entre las bases de la hoja y la base del peciolo y sirve para seguir la dirección del sol (Isla, 2009; PRODESOC 2006).

#### **1.3.1.8. Flores y fruto**

Las flores tienen su nacimiento en la estructura llamada cojín, cojinete o botón floral, y se desarrollan en el tronco y ramas principal, cada uno de los cojines puede tener entre 1 y 40 flores que, una vez abiertas solo tienen un periodo de viabilidad o de receptividad del polen de 48 horas (Isla, 2009). A partir de las flores fertilizadas gracias a la ayuda de los insectos polinizadores se desarrollan los frutos comúnmente llamados mazorcas, este es una baya (PRODESOC, 2006). De acuerdo a sus características se puede clasificar en variedades tales como: cacao forastero, criollo y trinitario (Nelson, 2008).

#### **1.3.2. EL AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*)**

El cultivo de caña de azúcar, es un agroecosistema de monocultivo, por su alto rendimiento, es muy demandante de nutrimentos que son suplidos casi totalmente por fertilizantes químicos, de manera general, las dosis aplicadas a la caña de azúcar en México han sido tomadas de manejos tecnológicos que se realizan en otros sitios (yuxtaposición) o bien por experimentación en campo lo cual es muy costoso y requiere de varios años para ser generada. En contraparte, se puede utilizar el modelo simplificado el cual basa su desarrollo en la estimación de: la demanda de nutrimentos, el suministro de nutrientes del suelo y la eficiencia de los fertilizantes (Rodríguez, 1990; Hernández *et al.*, 2008; Carrillo, 2008). En México la caña se quema en pre-cosecha para facilitar el corte, el cual los trabajadores realizan de forma manual, lo que provoca en la degradación del suelo en sus propiedades químicas, físicas y biológicas que, con el paso del tiempo trae como consecuencia suelos degradados a niveles de infertilidad y rendimientos bajos. La quema en pre-cosecha y la requema han provocado que los suelos cañeros lleguen a presentar menos de 2 % de materia orgánica (Quintero, 2005), lo que afecta la producción y crecimiento

vegetal del agroecosistema, el cual se ve afectado además por factores genéticos (Salgado *et al.*, 2010).

### 1.3.2.1. Origen y distribución

Edgerton (1958) menciona que la caña de azúcar es nativa de las regiones subtropicales y tropicales del sudeste asiático, y que Alejandro Magno la llevó de la India a Persia, mientras que los árabes la llevaron a Siria, Palestina, Arabia y Egipto, de donde se comenzó a extender por todo el continente Africano y Europa meridional. Para finales del siglo XV Cristóbal Colón la lleva a las islas del Caribe, de donde se distribuyó a toda América tropical y subtropical.

En Europa Occidental durante la edad Media, el azúcar fue un artículo de lujo; se usaba principalmente para la fabricación de dulces exóticos y productos farmacéuticos. En la actualidad el azúcar es uno de los principales endulcorantes y la caña su principal fuente (Díaz, 2002). La distribución del agroecosistema caña de azúcar se ubica entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio (Figura 1.2), es decir en las zonas tropicales, las más propicias para el desarrollo del cultivo. Los países con mayor producción en el mundo son Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Australia, Colombia, USA, Filipinas, Cuba e Indonesia, entre otros (Díaz, 2002).

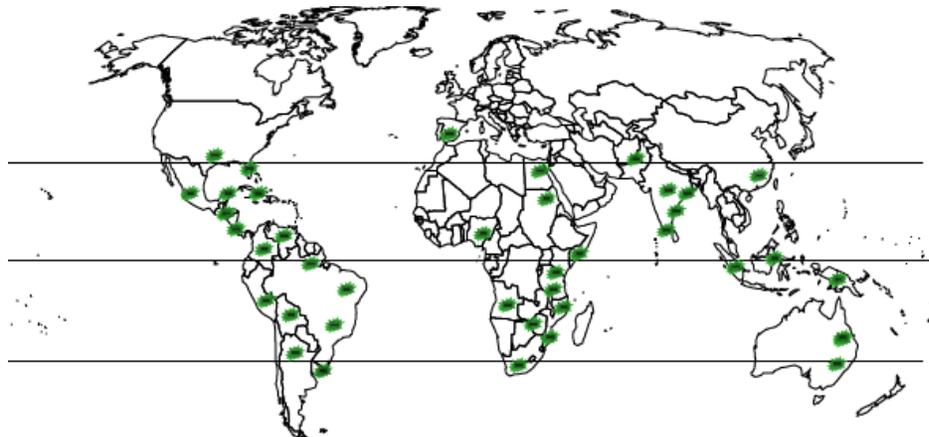


Figura 1.2. Distribución mundial de la producción de la caña de azúcar (Díaz, 2002).

En México se cuenta con una superficie sembrada de 774,243 ha, de las cuales se tiene una producción de 49,735,273.26 t, con un rendimiento de 69.65 t ha<sup>-1</sup>, (SIAP-SAGARPA. 2012). En el estado de Tabasco la superficie es de 32, 079 ha, de la cual se obtiene una producción de 1,437,264.44 t, logrando un rendimiento de 48.81 t ha<sup>-1</sup>, los municipios productores de caña de azúcar son: Balancán, Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo y Tenosique (SIAP-SAGARPA. 2012).

### **1.3.2.2. Clima y altitud**

La caña de azúcar se desarrolla adecuadamente en climas tropicales y puede producirse entre las latitudes 35° norte y sur, la altitud favorable va de 0 a 1,500 metros sobre el nivel del mar, temperaturas entre 32°C y 38°C y precipitaciones de 1,100 a 1,500 mm al año distribuidos en su ciclo de crecimiento son las más favorables. Para el cultivo es importante la radiación solar (18 y 36 MJm<sup>-2</sup>), a mayor radiación habrá mayor actividad fotosintética y mayor traslación de los carbohidratos de las hojas y tallos, favoreciendo en la producción en toneladas de azúcar (Díaz, 2002). Es importante tener en cuenta los factores ambientales para una acumulación de material vegetal, para así lograr incrementar la producción (Osorio, 2007).

### **1.3.2.3. Suelos adecuados para el agroecosistema caña de azúcar**

Según Díaz (2002) este cultivo tiene mejor desempeño en suelos francos, profundos y fértiles, aunque también se desarrolla en suelos arcillosos con drenaje, se adapta bien a suelos con pH de 4 a 8.3.

Las zonas cañeras se ubican principalmente en cuatros unidades de suelos; según la clasificación de la FAO-UNESCO: Cambisol (55 %), Vertisol (15 %), Fluvisol (15 %), y Luvisol (15 %). Estos suelos en términos generales presenta un pH ácido o ligeramente ácido, con bajos contenidos de fertilidad y de materia orgánica y con drenaje superficial de lento a medio (Palma *et al.*, 2007).

Los Cambisoles, son suelos que presenta un horizonte cámbico, su estructura se encuentra en desarrollo. Los Vertisoles, presentan un horizonte vértico, tienen 30 % o más de arcillas en todo el perfil, presenta grietas en época seca. Los Fluvisoles son

suelos de origen aluvial que se caracterizan por presentar textura media con estratificación en sus horizontes, buen drenaje y materia orgánica. Los Luvisoles presentan problemas de anegamiento y manto freático elevado en una buena parte del año, son suelos imperfectamente drenados su textura es media a arcillosa (IUSS-WRB, 2007).

#### **1.3.2.4. Morfología de la caña de azúcar**

La caña de azúcar pertenece al género *Saccharum* L., de la familia Poaceae, es una planta C4 con alta eficiencia fotosintética, de las especies de planta terrestres más eficiente, con alta producción de hojas y de tallos potencialmente puede producir alrededor de 45 t ha<sup>-1</sup> de masa seca por años (Fuchs *et al.*, 2005).

#### **1.3.2.5. Raíz**

La raíz es una de las partes más importante para la planta, a través de ella absorbe nutrientes y agua, y sirve de anclaje para la planta. La industria azucarera la conoce como sepa, es de tipo fibrosa (fasciculada), llegando a extenderse hasta 80 cm de profundidad si se trata de suelos profundos, localizándose el 80% del sistema radicular en los primeros 35 cm del suelo (Amaya *et al.*, 1995).

#### **1.3.2.6. Tallo**

Es el órgano esencial y el de mayor importancia para la producción de azúcar, se encuentra dividido en nudos y entrenudos, los últimos puede variar su longitud dependiendo de la variedad y el desarrollo de la planta y se componen de una parte sólida y otra líquida que corresponden a la fibra y el jugo, respectivamente; el jugo contiene agua y sacarosa (Díaz, 2002). Los nudos son la porción más dura y fibrosa que separa dos entrenudos. Los entrenudos derivan de la parte apical del tallo, en ellos ocurre la división celular que, a su vez, determina la elongación y la longitud final (Amaya *et al.*, 1995).

#### **1.3.2.7. Hoja**

Tienen forma de cinta y constan de una vaina cuya función es proteger a la yema, tienen su origen en los entrenudos del tallo, conforme crece la caña las hojas viejas

son remplazadas por hojas nuevas que aparecen en los nudos superiores (Díaz, 2002).

#### 1.4. LITERATURA CITADA

- Aceves N. L. A. 2010. El clima y el cultivo del cacao. En: Córdova A. V., García L. E., Obrador O. J. J., (Eds.). 2010. Cultivo y transformación del cacao en Tabasco. Publicación especial del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H Cárdenas, Tabasco, México. 94 p.
- Altieri M. A. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agricultura, Ecosystems and Environment*. 1917: p. 1-24.
- Amaya E. A., Cock J. H., Hernández A del P. y Irvine J. E. 1995. Biología. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA-Centro De Investigación de la Caña de Azúcar De Colombia. P. 31-62.
- Avendaño A. C. H., Villarreal F. J. M., Campos R. E., Gallardo M. R. A., Mendoza, L. A., Aguirre M. J. F., Sandoval E. A. y Espinosa Z. S. 2011. Diagnóstico del cacao en México. Universidad Autónoma Chapingo. Secretaria de Agricultura, Ganadera, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria. México. 80 p.
- Azevedo M., Chopart J. y De Contimendina C. 2011. Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. *Sci. Agric.* 68 (1): p. 94-101.
- Bastida L., Rea R., Rodríguez N. y Ventura J. 2011. Influencia del sistema radical sobre los indicadores de rendimiento en la caña de azúcar. *Multiciencia*. Universidad del Zulia punto fijo, Venezuela. 11 (1). P. 15-25.
- Bouché M. B. 1977. Stratégies lombriciennes. *Ecol. Bull.* 25. 122 p.

- Cabrera G. y Crespo G. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 35 (1). Instituto de Ciencia Animal Cuba. P. 3-9.
- Carrillo Á. E., Vera E. J., Alamilla M. J. C., Obrador O. J. J. y Aceves N. E. 2008. Como Aumentar el Rendimiento de la Caña de Azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados. 101 p.
- Chopart J., Lemezo L. y Brossier J. 2009. Spatial 2d distribution and depth of sugar cane root system in a deep soil. En: international symposium "root research and applications", boku-viena, Austria p. 1-4.
- Cerdas B. R. H. 2008. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Programa de Educación para el desarrollo y la conservación. Escuela de Postgrado. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 66 p.
- Dahnke W. C. y Johnson G. V. 1990. Testing soils for available nitrogen. En: Westerman R.L. (eds.). *Soil testing and plant analysis* N° 3. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU. P. 127-139.
- Díaz M. L. L. y Portocarrero R. E. T. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Honduras. 148 p.
- Duguna B., Gockowski J. y Bakala J. 1999. Desafío biofísico y oportunidades para el cultivo sostenible de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales de África Occidental y Central. *Agroforestería en las Américas*. 6(22). 23 p.
- Edgerton C. 1958. *Sugar cane and its diseases*. Louisiana state university press. Baton Rouge, U. S. A. 301 p.
- FEDECACAO. 2010. Federación Nacional de Cacaotero. Generalidades del cultivo del cacao. Fondo Nacional del Cacao. 68 p.

- FONCITT. 2003. Foro Nacional Cacaotero Programa estratégico de Investigación y Transferencia Tecnológica. Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología para la Cadena Agroindustrial Cacao en México. Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce, A.C. (COFUPRO). Dirección de Vinculación y Desarrollo Tecnológico de la SAGARPA. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 50 p.
- Fuchs M., González V., Rea R., Zambrano A. Y., De Sousa V. O., Díaz E., Gutiérrez Z., y Castro L. 2005. Mejoramiento de la caña de azúcar mediante la inducción de mutaciones en cultivos de callos. *Agronomía Trop.* 55 (1): p. 133-149.
- Gálvis S. A. y Hernández M. T. M. 2004. Cálculo del nitrógeno potencialmente mineralizable. *Interciencia* 29(007): p. 377-383
- González L. V. W. 2005. Cacao en México: Competitividad y medio ambiente con alianzas. (Diagnóstico rápido de producción y mercadeo). United States Agency International Development (USAID), From The American People. 93 p.
- Hernández M. G., Salgado G. S., Palma L. D., Lagunes E. L., Castellan E. M., Y Ruiz R. O. 2008. Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol molico de Chiapas, México. *Interciencia.* 33 (11): p. 855-860.
- Isla R. E. 2009. Manual para la producción de cacao orgánico en las comunidades nativas de la cordillera del condor proyecto "Paz y Conservacion Biracional en la cordillera del condor Ecuador-Peru-Fase II (Component Peruana). Lima Peru. 87 p.
- IUSS-WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 130 p.
- James M. J., Julio B. C. y Castillo A L. 2008. Manual de manejo y producción del cacaotero. León Nicaragua. Folleto N°1. 40 p.

- Lang O. F. P., Pérez V. A., Martínez D. J. P., Platas R. D. E., Ojeda E. L. A. y González A. I. J. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo, A. C. Chapingo México. 29, (2). P. 169-177.
- Junqueira H., Ocheuze P., Vitti A., Otto R., Faroni C. y Salgado S. 2010. Aprovechamiento del 10B-fertilizante por la caña de azúcar. VII Congreso de técnicos azucareros de Latinoamérica y el Caribe. Caña de azúcar oportunidades y desafíos para Latinoamérica. 10 p.
- López A. S. 1994. Manejo: Aspectos Químicos. En: Solos altamente susceptibles a erosão. V. P. Pereira, M. E. Ferreira y M. C. P. Cruz (Eds). Faculdade de Ciências Agrárias e de Veterinária, Universidade Estadual de São Paulo/Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Joboticabal. 253 p.
- López A., Hernández F., Chajil E. y Pérez O. 2007. Evaluación de vinaza y nitrógeno en el cultivo de caña de azúcar y su efecto en las propiedades químicas del un suelo andisol de Guatemala. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar CENGICAÑA, Guatemala. 8 p.
- Lavelle P. y Spain A. V. 2001. *Soil Ecology*. Holanda, Kluwer Academic Publishers. 10 p.
- Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P. y Mora J. P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. 42: p. 3-15.
- Márquez J. M., Villagrán O., Asencio J. J. y López A. 2009. Estudio del grado de daño y la estimación de las pérdidas causadas por termitas subterráneas en caña de azúcar en Guatemala. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, CENGICAÑA, Guatemala 10 p.
- Nelson G. B. A. 2008. Manejo de la arquitectura aérea del árbol de cacao “poda de cono natural. Federación Nacional De Cacaotero. Colombia. 56 p.

- Obrador O. J. J. 2009. Labores culturales en el cultivo de caña de azúcar. En Valdez B. A., Guerrero P. A., García L. E. y Obrador O. J. J. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México. P. 22-25.
- Ortiz A., Riascos I. y Somarriba I. 2008. Almacenamiento y tasa de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L) y laurel (*Cordia alliodora*). Avances de investigación. Universidad de Nariño, Colombia. Grupo Temático Cacao, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Agroforestería en las Américas. No 46. 4 p.
- Osorio G. 2007. Manual: buenas prácticas agrícolas –BPA- y buenas prácticas de manufactura –BPM- en la producción de caña y panela. FAO organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, gobernación de Antioquia, MANA. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Centro de Investigación la Selva. 200 p.
- Palencia C. G. E., Gómez S. R. y Guiza P. O. 2006. Cacao, manejo de jardines clonales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Bucaramanga. Colombia. 6 p.
- Palma L. D. J., Cisneros D. J., Moreno C. E. y Rincón R. J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Palma L. D. J., Morales G. M. A. y Triano S. A. 2010. Suelos Cacaoteros de Tabasco. En: Córdova A. V., García L. E., Obrador O. J. J., (Eds). 2010. Cultivo y transformación del cacao en tabasco. Publicación especial del colegio de postgraduados, campus tabasco. H Cárdenas, Tabasco, México. 94 p.
- PRODESOC. 2006. Programa para el Desarrollo Rural Sostenible en el Municipio el Castillo. Guía Técnica para Promotores, Cultivo del Cacao en Sistemas Agroforestales. Rio San Juan, Nicaragua. 67 p.

- Quintero R. 2005. ¿Inciden las quemas de la caña de azúcar en el contenido de materia orgánica del suelo?. Cenicaña, cali. 10 p.
- Rodríguez S. J. 1990. Fertilización de los cultivos. Un método racional. Universidad Católica de Chile. 13 p.
- Salgado G. S., Núñez E. R. y Bucio L. A. 2003. Determinación de la dosis óptima económica de fertilizante en caña de azúcar. Terra Latinoamericana, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., Chapingo, México. 21 (2). P. 267-272.
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Zavala C. L., Lagunes E. L. C., Castelán E. M., Ortiz G. F., Juárez L. J. F., Ruiz R. O., Armida A. L. y Rincón R. J. A. 2010. El programa de fertilización sostenible para una fábrica de azúcar en México: un principio para agricultura de precisión. Proc. Int. Soc. Cane. Technol. 27, 8 p.
- Sánchez P. A. y Logan T. J. 1992. Myths and science about the chemistry and fertility of soil in the tropics. En: Myths and Science of Soil of the Tropics. Lal, R. y P. A. Sanchez (Ads). Soil Sci. Soc. Am. Special Publication 29, 45 p Madison.
- 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.
- SIAP-SAGARPA. 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 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](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=184). 25/10/12.
- Stanford G. y Smith, S. J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soils Sci. Soc. Am.* 36: 472 p
- Taylor D. A. 2005. Innovative Technologies: Sweet deal for cacao production?. *Environmental Health Perspective*, 113 (8). 516 p.

- Vázquez L. Z., Suarez G., Guarat R., Abreu N. y Sánchez E. 2004. Principales requerimientos agroecológicos para el establecimiento de *Theobroma cacao* L. en Cuba. Revista Electrónica Hombre, Ciencia y Tecnología. N° 39. 12 p. [www.gtmo.inf.cu](http://www.gtmo.inf.cu)
- Villegas T. F. 2010. Sistema radicular de la caña de azúcar. El sistema radical de las plantas y la absorción de nutrimentos. Cenicaña. Revista Técnicaña N° 25. 5 p. [www.tecnicaña.org](http://www.tecnicaña.org)
- Vitti A. C., Ocheuze T. P. C., Castro G. G. J., Penatti C. P., Rodríguez B. I., Faroni C. E. y Junqueira F. C. 2007. Produtividade de cana de açúcar relacionada ao nitrogênio residual de adubação e do sistema radicular. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 42 (2): p. 249-256.
- Wardle D. A. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. Advances in Ecological Research. 26: p. 105-185.

**CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN ÉPOCA SECA Y HÚMEDA**

# EVALUACIÓN DEL SISTEMA AGROFORESTAL CACAO (*Theobroma cacao* L.) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO EN ÉPOCA SECA Y HÚMEDA

Guillermina Pascual Córdova, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

## Resumen

El cacao en Tabasco es uno de los agroecosistema más importante desde el punto de vista de la conservación de especies, y por su manejo como sistema agroforestal, tiene la ventaja de requerir durante su producción, pocos insumos. Para evaluar la calidad del suelo, en dos épocas: seca y húmeda se realizaron muestreo de suelos y análisis químicos (NOM-021-RECNAT-2000), biológicos (USDA; 1999) y de biomasa radical (Moreno *et al.*, 2005), con este fin se realizaron ocho perfiles y se tomaron muestras a ocho profundidades. Los indicadores químicos no mostraron por lo general diferencias entre épocas. El potasio es quizás el elemento a tener más en cuenta dado que; es el que más demanda la plantación y presentó contenidos en las diferentes profundidades que van de muy bajos a medios ( $0.06-0.36 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ ). Se encontraron pocos organismos, la clase Oligochaeta la más abundante (10 individuos en total) y solo se le encontró en la primera profundidad. La densidad de longitud de raíces finas (DLRz  $\text{km m}^{-3}$ ) se encontró mayormente en la profundidad 0-100 cm; con valores de 96 y 92%, para la época húmeda y seca, respectivamente.

**Palabras clave:** fertilidad de suelo, macro-organismos, densidad de longitud de raíces finas.

# EVALUATION OF COCOA AGROFORESTAL SYSTEM (*Theobroma cacao* L.) USING INDICATORS OF SOIL QUALITY IN DRY AND WET SEASONS

Guillermina Pascual Córdova, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

## Abstract.

The Cocoa in Tabasco state is one of the most important agroecosystem, by the conservation of species and their management like an agroforestry system has the advantage of require for their production, low input. To assess soil quality in two seasons: dry and wet were performed soil sampling and chemical analysis (NOM-021-RECNAT-2000), biological (USDA, 1999) and root biomass (Moreno *et al.*, 2005) 8 and eight profiles in depth. Chemical indicators generally showed no differences between seasons and potassium is the most worrying element because it is the most demand for planting and content presented in different depths ranging from very low to medium (0.06 to 0.36 cmol (+) kg<sup>-1</sup>), few macroorganisms, were found, the class Oligochaeta was the most abundant (10 individuos in total) and was only found in the first depth. The density of fine root length (DLRz km m<sup>-3</sup>) was found mostly in the 0-100 cm depth, with values of 96 and 92%, for the wet and dry seasons, respectively.

**Key words:** fertility of soil, macro-organisms, root length density fine.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas agroforestales son reconocidos como una forma sostenible de uso de la tierra debido a que proporcionan niveles óptimos de producción de alimentos, mantienen buenos contenidos de nutrimentos en el suelo, fomentan el incremento de la fertilidad del suelo y conservan contenidos importantes de MO (Chander, 1998; Moreno *et al.*, 2005a), la cual se asocia con un crecimiento adecuado de la biota edáfica; además, su diversidad biológica permite al productor obtener recursos económicos en varias épocas del año por venta de frutas, leña, especies, entre otras) (Donald, 2004; Sánchez, 2012).

En México la superficie cultivada con cacao abarca 61,006.00 ha, los estados de Tabasco (67.2 %) y Chiapas (32.3 %) ocupan prácticamente el total de la superficie. Los rendimientos en estas entidades son de 0.32 y 0.41 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2011), los cuales son bajos con respecto a los obtenidos en años anteriores (0.6 t ha<sup>-1</sup>) a la aparición de 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 del suelo con los constantes almacenamiento de materia orgánica (hojarasca y raíces), además que, su vegetación multiestrato actúa como sumideros de CO<sub>2</sub> (Isacc; *et al.*, 2005; van Straaten *et al.*, 2009). Son nichos ecológicos de relevante importancia para la protección de aves, mamíferos y plantas y, desde el punto de vista económico y cultural son trascendentales para los productores de la entidad (Greenberg *et al.*, 2000; Ibarra y Estrada, 2001). 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 la plantación de cacao interactúa con otras plantas de usos múltiples, preponderándose el uso de leguminosas (García, 1983; Ramírez *et al.*, 2009).

La composición heterófita del cacao permite varias opciones productivas vinculadas directamente con el sustento económico del productor; inicia desde 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, ya sea como madera, para postería o como madera preciosa para la ebanistería (Ramírez, 1997; Asare, 2006; Sonwa *et al.*, 2007).

La biodiversidad florística de las fincas de cacao en Tabasco es muy variada; sin embargo, las especies predominantes son el chipilc6 (*Diphysa robinoides* Benht.), coco6ite (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) y la madre de cacao (*Erythrina* sp), las cuales, representan el 80 % de los 6rboles en las plantaciones. La selecci6n de los 6rboles de sombra est6 determinada por su f6cil manejo, producci6n de madera, le6a, aporte de nutrimentos y frutos comestibles (García 1983). Sin embargo, en estudios recientes en fincas de diferentes edades de uso, se determino que los g6neros mejor representados en las parcelas de 30 a6os son: *Diphysa* con 25 % (127), *Colubrina* con 12 % (59), *Erythrina* con 11 % (55), *Samanea* con 10 % (51), y *Cedrela* con 6 % (30), y en su conjuntos, agrupan 64 % del total de individuos. En las parcelas de 50 a6os, los g6neros mejor representados son *Musa* con 18 % (122), *Colubrina* con 16 % (195), *Erythrina* con 10 % (118), *Cedrela* con 6 % (79), *Persea* con 6 % (74) y *Hampea* con 5 % (65); y que en total agrupan 61 %. Ram6rez (2009).

La mayoría de las plantaciones de cacao del estado de Tabasco son viejas, contienen mezclas de variedades, tienen problemas fitosanitarios importantes y pr6cticamente no se les realizan aplicaciones de fertilizantes (Ramírez, 2009; S6nchez, 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 por el de las plantas fijadoras de nitr6geno (Alonso, 1987). Est6n sembrado b6sicamente sobre suelos Fluvisoles y Cambisoles que son de los mejores de la entidad, presentan caracter6sticas f6sicas y biol6gicas importantes, para el 6ptimo crecimiento y desarrollo de las plantaciones (Palma *et al.*, 2007). No obstante, dado su manejo (bajo uso de fertilizantes) es com6n observar s6ntomas de deficiencias, lo cual es consecuencia de los factores mencionados y del desaliento de los productores por los bajos rendimientos y precios de mercado (Avenda6o, *et al.*, 2011), lo que ha dado pie a que con el tiempo, exista una evidente disminuci6n de las 6reas sembradas con

cacao a favor de la siembra de caña de azúcar, agroecosistema que por su manejo actual, disminuye la calidad de los suelos (Salazar, 2002).

La calidad del suelo es la aptitud de éste para funcionar como un sistema vivo vital, dentro de los límites del ecosistema y uso de la tierra. Capaz de sostener la productividad de las plantas y de los animales, manteniendo la calidad del agua, y aire, y promoviendo la sanidad vegetal y animal (Doran y Safley, 1997; Doran y Zeiss, 2000). Para poder sistematizar, diferenciar y evaluar la calidad de un suelo es necesario contar con indicadores de calidad edáfica (Rossi *et al.*, 2009), que son parámetros de sus propiedades químicas, físicas y biológicas, sensibles a las perturbaciones y representan el desempeño de la función del ecosistema en el suelo. Son propiedades dinámicas con variaciones espaciales y temporales (Doran y Parkin, 1996; Labrador, 1996; Geissen y Morales, 2005). En los que el conocimiento de la capacidad de exploración de nutrientes de las raíces finas (< 3 mm) es medular, debido a que son las encargadas de la extracción de los nutrimentos del suelo (bombeo de nutrimentos). La densidad de longitud de raíces permite incrementar la eficiencia del uso de los recursos externos; la toma de nutrientes por las plantas depende de forma importante del desarrollo radical de los cultivos, sobre todo en el caso de nutrientes poco móviles (Van noodwijk y De Willigen, 1991).

El SAF cacao es reconocido como un sistema sustentable, por la diversidad de especies de plantas y animales que en él habitan (Donald, 2004), por el bajo uso de insumos que se utilizan (las plantas fijadoras de N) (Kass, 1997; Sánchez, 2012), por el arraigo cultural y gran aceptación de productores de bajos recursos (Asare, 2006) y por ser sitio de convivio social (Priego *et al.*, 2009); no obstante, anualmente del agroecosistema se exporta una cantidad importante de nutrimentos; una tonelada de cacao extrae alrededor de 35 kg de N, 15 de P, 80 de K y 12 kg de Mg y Ca (IFA, 1992). El historial de extracciones periódicas y la avidez por K que tiene el cacao podría estar causando una disminución importante de la calidad del suelo y un desbalance nutrimental (Isacc *et al.*, 2007), razón por la que, en el presente trabajo se tuvo como objetivo principal, determinar indicadores de la fertilidad química y biológica del suelo en el agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.), en dos épocas del año; seca y húmeda.

## 2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó de Julio de 2011 a Abril de 2012 en la region de la Chontalpa, Tabasco, específicamente en el poblado del C-34, Lic. Benito Juárez García, cuyas coordenadas son 17°58.90.5" de latitud norte y 93°35.35" de longitud oeste. La ubicación geográfica de la parcela de estudio se muestra en la Figura 2.1.

La zona cacaotera del estado de Tabasco presenta un clima característico del trópico 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 meses lluviosos (septiembre y octubre) (García, 1988).

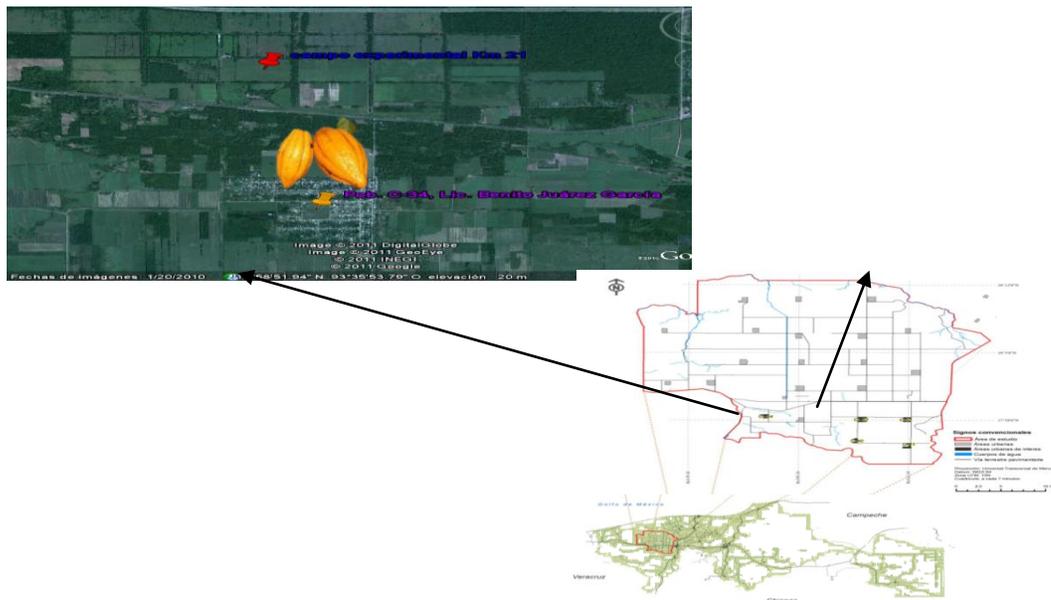


Figura 2.1. Ubicación del área de estudio

Los suelos de la región pertenecen a una zona de llanura aluvial baja (Figura 2.2), ocupan una superficie de 516,647 ha, fisiográficamente constituyen 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).

La mayor parte de los suelos de la llanura aluvial baja presentan características de alta fertilidad natural, y son ricos en la mayoría de los nutrimentos requeridos por las plantas, aunque se detectan respuestas principalmente al aporte de nitrógeno y fósforo en la mayoría de los cultivos. Sin embargo, sus propiedades físicas son adversas, ya que presentan texturas arcillosas del tipo 2:1, que dificultan la circulación del agua y el aire en su interior; por lo tanto, es común encontrar obras de drenaje en estas tierras, que facilitan la salida de los excesos de agua en la época de mayor precipitación; aun cuando son suelos profundos, las raíces de los cultivos tienen problemas de anclaje, debido a que el manto freático se encuentra cercano a la superficie del suelo durante una buena parte del año. Los suelos con mayor presencia en la zona corresponden a los Vertisoles y Gleysols (Palma *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2009; Juárez *et al.*, 2011)

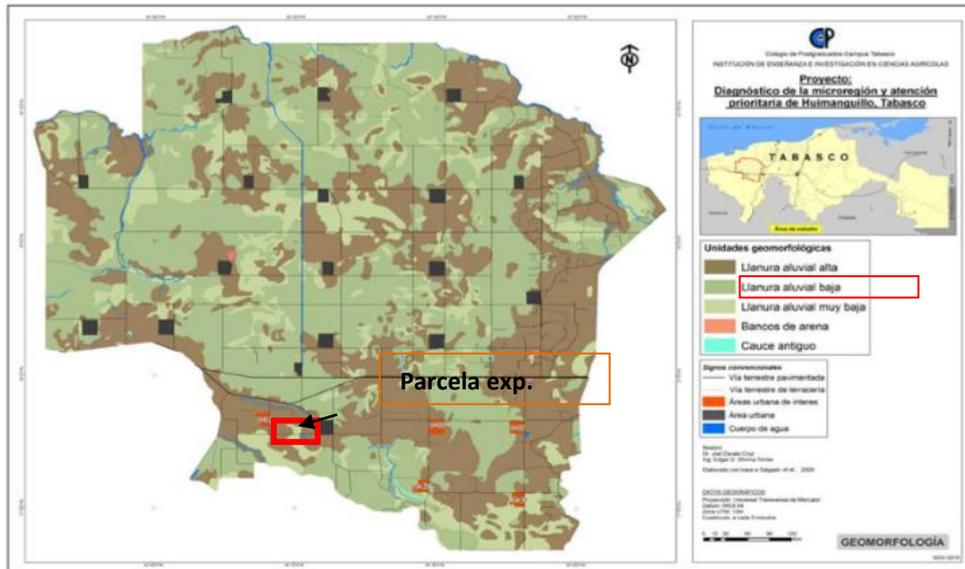


Figura 2.2. Mapa de geomorfología donde se ubica el área de estudio, Fuente: Elaboración propia con base a Microrregión de Atención Prioritaria 2011

### **2.2.2. Fase 1: Caracterización de la unidad de suelo**

La parcela experimental se ubicó en una unidad Cambisol, que corresponde a los suelos representativos de la planicie aluvial de Tabasco y del sistema agroforestal cacao. Esta se ubicó con base en estudios anteriores (INEGI, 1999; Palma *et al.*, 2007); además, de considerar observaciones de campo (barrenaciones de suelos) y entrevistas con productores cooperantes. La edad de la plantación era de aproximadamente 20 años y se encontraba sembrada en un arreglo topológico de 4 x 4 m, con árboles de sombra mayormente de chipilc6 (*Diphysa robinoides*), madre de cacao (*Erythrina* sp) y pataste (*Theobroma bicolor*).

Se realizó la descripción taxon6mica del suelo (Figura 2.4), mediante la apertura de un perfil de 1.80 m de profundidad de acuerdo al manual y la metodolog6a de Cuanalo (1990). Para deducir la unidad de suelos se recurri6 a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2007). Las muestras de cada horizonte fueron trasportadas al laboratorio de An6lisis Qu6mico de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, para realizarles los an6lisis qu6micos que permitieron caracterizar el suelo (NOM-021-RECNAT-2000).

### **2.2.3. Fase 2: Diagn6stico nutrimental de suelos**

Se tomaron muestras con barrena tipo holandesa a profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm, cada una de las dos muestras compuestas, se conform6 de 15 submuestras tomadas aleatoriamente en zig-zag, abarcando todo el terreno. Las muestras se prepar6 para realizarles an6lisis de: pH en agua relaci6n 1:2, materia org6nica (MO), textura, capacidad de intercambio cati6nico (CIC), carbono org6nico soluble (COS), nitr6geno (N), f6sforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg); en el laboratorio de An6lisis Qu6mico de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, para realizarles los an6lisis qu6micos seg6n metodolog6a de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Cuadro 2.1).

### 2.2.4. Fase 3. Determinación de los indicadores químicos y biológicos para la evaluación del agroecosistema

Se abrieron ocho calicatas de 1.6 m de profundidad, cuatro durante la época húmeda (julio 2011) y cuatro en la seca (abril 2012), se utilizó el método del monolito (Figura 2.3) (MacDiken, 1997; Schlegel *et al.*, 2000), usando cubos metálicos con dimensiones de 10 cm X 10 cm x 20 cm de altura abiertos en la parte superior e inferior, a partir de la superficie se tomó una muestra cada 20 cm obteniendo un total de ocho muestras de cada perfil, siendo un total 32 muestras por época. El suelo obtenido en cada estrato se colocó en bolsas de plástico, las cuales fueron etiquetadas con el número del monolito, edad de la plantación, parcela, profundidad y época del año (Cuadro 2.1). A los suelos se les realizaron análisis de: materia orgánica (MO), pH, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) de acuerdo a los métodos establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000).

Cuadro 2.1. Métodos utilizados en cada uno de los análisis químicos de suelo

Parámetros	Métodos	Metodología
pH	CaCl <sub>2</sub> (1:2)	NOM-021-RECNAT 2000)
Materia Orgánica	Combustión húmeda	
Nitrógeno total	Walkley and Black	
	Semi-micro Kjeldahl (modificado para incluir nitratos)	
Fosforo disponible	Olsen (suelos neutros y alcalinos)	
Capacidad de Intercambio Catiónico	Extracción con acetato de amonio	
Bases intercambiables	Na, K, Ca y Mg	
Textura	Bouyoucos	

Para conocer la diversidad de los organismos edáficos (macrofauna) aquellos que tienen la función de modificar el suelo ya sea por sus movimientos o sus hábitos alimenticios (Rodríguez, 2002), se utilizaron los perfiles anteriormente mencionados, en los ocho perfiles se procedió a tomar las muestras durante la época seca y húmeda. La profundidad considerada fue de 60 cm, el muestreo se realizó con cubos metálicos (MacDiken, 1997; Schlegel *et al.*, 2000) (Figura 2.3) los cuales tienen medidas de 25 X 25 X 20 cm de altura, abiertos en la parte superior e inferior, se obtuvieron tres monolitos por perfil (de forma vertical), las muestras se colocaron en bolsas de plástico con su identificación correspondiente; cultivo, número de monolito, profundidad, época del año y fecha, y fueron llevadas al laboratorio de Entomología del Campus Tabasco, donde los organismos edáficos fueron separados del sustrato (suelo) y depositados en frascos con alcohol al 70%. Se revisó un total de 24 muestras durante el año. Con un microscopio estereoscópico se identificaron los organismos colectados y fueron separados en los principales grupos taxonómicos (Clase y Orden) (USDA; 1999).



Figura 2.3. Cubos metálicos utilizados para la extracción de las muestras

### 2.2.5. Análisis de datos

En el experimento se utilizó un diseño completamente al azar realizando el análisis estadístico a través de un arreglo factorial en el que se consideraron dos épocas (seca y húmeda) y ocho profundidades por cada uno de los cuatro perfiles (Cuadro 2.2), las variables contrastadas fueron: materia orgánica (MO), pH, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (NOM-021-RECNAT-2000).

Cuadro 2.2. Tratamientos estudiados para los indicadores químicos

<b>N° Tratamiento.</b>	<b>Denominación.</b>	
1	EpSp1	Época seca + profundidad 0-20cm
2	EpSp2	Época seca + profundidad 20-40cm
3	EpSp3	Época seca + profundidad 40-60cm
4	EpSp4	Época seca + profundidad 60-80cm
5	EpSp5	Época seca + profundidad 80-100cm
6	EpSp6	Época seca + profundidad 100-120cm
7	EpSp7	Época seca + profundidad 120-140cm
8	EpSp8	Época seca + profundidad 140-160cm
9	EpHp1	Época húmeda + profundidad 0-20cm
10	EpHp2	Época húmeda + profundidad 20-40cm
11	EpHp3	Época húmeda + profundidad 40-60cm
12	EpHp4	Época húmeda + profundidad 60-80cm
13	EpHp5	Época húmeda + profundidad 80-100cm
14	EpHp6	Época húmeda + profundidad 100-120cm
15	EpHp7	Época húmeda + profundidad 120-140cm
16	EpHp8	Época húmeda + profundidad 140-160cm

Para determinar el grado de asociación entre variables que en este caso son los análisis químicos, se estableció análisis de correlación entre las variables de Nt, MO, COS, P, bases intercambiables, CIC, textura, entre otras. Con ayuda del programa de SAS.

#### **2.2.6. Fase 4. Determinación de la distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR)**

Se realizaron los muestreos en la época seca y húmeda, en la misma forma y número a los realizados en el muestreo del suelo para evaluar el agroecosistema con indicadores químicos y biológicos de la calidad edáfica, los monolitos utilizados tienen dimensiones de 7.0 x 7.0 cm de lado y lado y 20 cm de largo, cada muestra de suelo obtenida fue colocada cuidadosamente en bolsas de polietileno con su identificación correspondiente: fecha, número de muestra, profundidad, cultivo y localidad, estas muestras fueron llevadas al Herbario CSAT del Campus Tabasco.

Para el tamaño de las raíces, se consideraron como raíces finas, aquellas de diámetro inferior de 3 mm (Cuanalo, 1990). Se les lavó a mano por el método de Böhm (1979), fueron medidas y posteriormente secadas en estufa a 70°C hasta peso constante y pesadas con una balanza de precisión ( $\pm 0.0001g$ ), a los valores resultantes se les aplicó el mismo diseño estadístico explicado con anterioridad.

## **2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.3.1. Caracterización de la unidad de suelo**

La unidad de suelos corresponde a un Cambisol endoglético (CMgin) (Figura 2.4), que deriva de sedimentos fluviales, presenta propiedades gléyicas entre 50 y 100 cm, tiene manto freático elevado en alguna época del año, muestra características vinculadas con la gleyzación, debido a que tiene periodos de anegamiento importantes. Se le clasifica por su capacidad de uso como III/D3D4C1, es decir, son considerados suelos de tercera clase dado su manto freático elevado en una época del año. En la región de la Chontalpa están ocupados principalmente con cacao, caña de azúcar, maíz, arroz y pastizales (Palma *et al.*, 2007). El comportamiento en profundidad de los componentes de la textura (Figura 2.5a) muestra que, de los tres componentes, la arena es el único que tiene un patrón estable; incrementa su participación porcentual conforme lo hace la profundidad, la arcilla tiene una disminución no uniforme más marcada que la del limo. De los valores relacionados con los componentes de los residuos orgánicos; nitrógeno (N), carbono orgánico soluble (COs) y materia orgánica (MO), en la Figura 2.5b se observa que ésta última tiene una disminución más pronunciada conforme incrementa la profundidad. El mencionado resultado puede estar relacionado con la alta dinámica de los otros dos componentes (Sanderman *et al.*, 2008).

### **2.3.2. Diagnóstico nutrimental del suelo**

En el cuadro 2.3 se presentan los resultados del diagnóstico realizado a las muestras de las dos profundidades (0-30 cm y 30-50 cm). Llaman poderosamente la atención los bajos y medios contenidos medios de MO, ya que en el sitio se observaba gran cantidad de hojarasca, lo que indica que probablemente la mineralización se esté viendo condicionada por la humedad (alta o baja) del sitio. La mayoría de los otros nutrientes también mostraron contenidos muy bajos; es preocupante que el K muestre valores muy por debajo de lo encontrado en otros estudios (Alonso, 1987) ya que dicho elemento es el más demandado por el cacao (IFA, 1992) y, de manera general, se encuentra en concentraciones altas en este tipo de suelos. Es importante considerar en estudios

posteriores la realización de diagnósticos que permitan dilucidar la problemática nutricional del SAF cacao.

Figura 2.4. Descripción del perfil edáfico en el agroecosistema cacao.

(Localización: N 17° 58.905', W 093° 35.352', relieve: convexa-cóncava, pendiente: -2%, drenaje normal, material parental: cuaternario reciente, flora: hilillo, cocohite, mango, aguacate, etc; manto freático: 150cm, drenaje del perfil: bien drenado)

Perfil	Ho	Descripción.
	0-20	Color de la matriz del suelo: 5YR 2.5/2 café muy oscuro. Transición: marcada horizontal. Húmedo. Textura: franco arcilloso. Consistencia en húmedo: firme muy húmedo ligeramente pegajoso. Estructura: moderadamente desarrollada de forma poliédrica angular y subangular muy fino. Cutanes: planchados por presión discontinuos delgados verticales. Reacción al peróxido de hidrogeno (para MO). Poros: frecuentemente muy finos continuos caóticos. Permeabilidad: lenta. Raíces: comunes finas delgadas y medias. Fauna: túneles de lombriz. pH: 5.
	20-47	Color de la matriz del suelo: 7.5YR 3/1 gris muy oscuro. Transición: tenue horizontal. Húmedo. Textura: franco arcilloso. Consistencia en húmedo: firme muy húmedo ligeramente pegajoso. Estructura: moderadamente desarrollada poliédrica angular. Cutanes: planchado por presión discontinuos delgados y verticales. Con reacción al peróxido de hidrogeno. Poros: frecuentemente muy finos continuos caóticos. Permeabilidad: lenta. Raíces: comunes finas delgadas y medias. Fauna: gallina ciega. pH: 6.
	47-99	Color de la matriz: 7.5YR 4/3 pardo. Transición: tenue horizontal. Húmedo. Moteado: 5YR 5/8 rojo amarillento. Textura: franco arenoso. Consistencia en húmedo: friable muy húmedo ligeramente pegajosa. Estructura: débilmente desarrollado de forma poliédrica angular y subangular. Cutanes: eluviación continuos delgados y verticales. Poros: frecuentemente muy finos y finos continuos y discontinuos caóticos vesicular. Permeabilidad: rápida. Raíces: pocas finas delgadas. pH: 6.
	99-150	Color de la matriz: 7.5 YR 4/4 pardo. Transición: tenue. Muy húmedo. Moteado (frecuente): 5YR 6/1 gris. Textura: franco arenoso. Consistencia en húmedo: pegajoso muy húmedo. Estructura: débilmente desarrollada poliédrica angular y subangular. Cutanes: eluviación discontinuo y verticales. Poros: frecuentes muy finos y medios continuos caóticos vesiculares. Permeabilidad: rápida. Raíces: comunes. pH: 6.

Prof.	%							Clase	(cmol kg <sup>-1</sup> ) (c)					mg kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub>	abs
	N	CO	MO	R	L	A	textural		CIC	Na	K	Ca	Mg	P	pH	COS
0-20	0.17	1.35	2.33	32	35	33	Franco arcilloso	16.7	0.22	0.15	7.00	1.04	3.38	4.7	0.240	
20-47	0.11	0.81	1.40	34	29	37	Franco arcilloso	17.3	0.33	0.09	6.63	1.18	3.24	4.77	0.152	
47-99	0.04	0.27	0.47	30	27	43	Franco arcilloso	16.2	0.37	0.10	6.56	1.58	13.65	4.99	0.061	
99-150	0.04	0.15	0.27	24	33	43	Franco arcilloso	17.3	0.61	0.11	6.97	2.11	8.16	5.42	0.021	

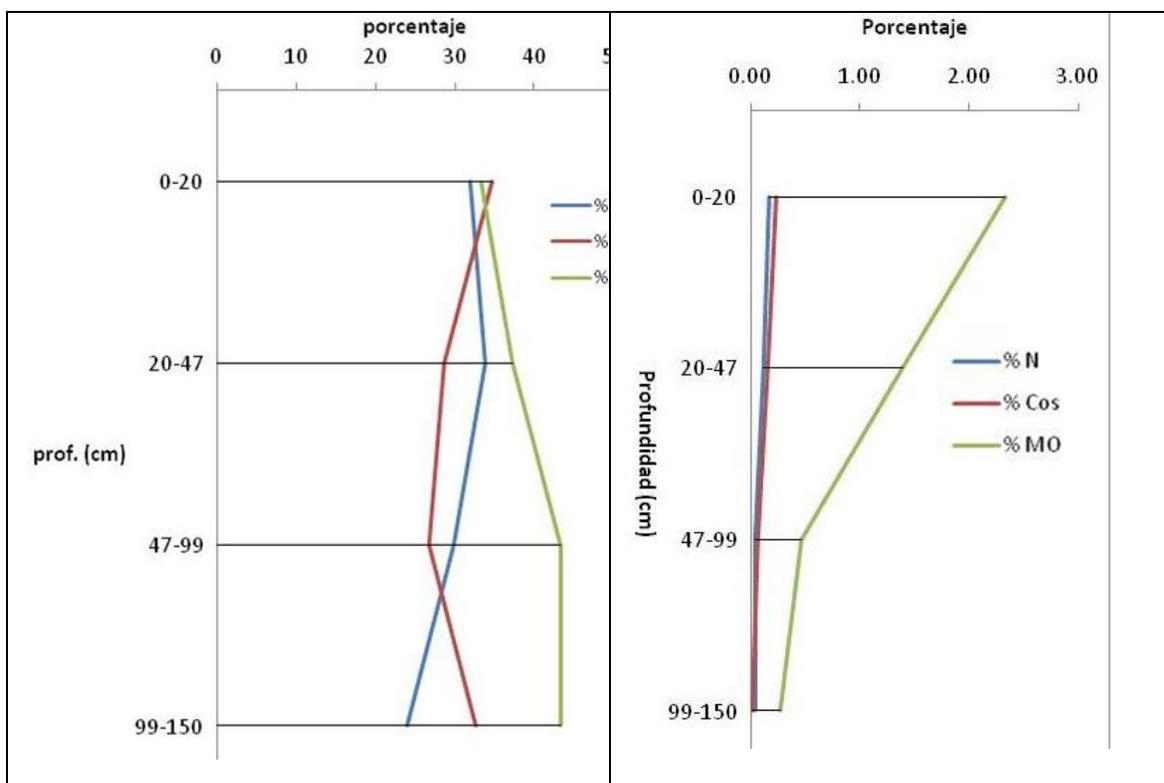


Figura 2.5. a) Comportamiento de la textura y b) Comportamiento de los componentes orgánicos en el perfil del Cambisol endoglético (CMgin), en la parcela de estudio en cacao

Cuadro 2.3. Propiedades químicas de un Cambisol endoglético (CMgin), a dos profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm, (NOM-021-RECNAT-2000)

Nutriente.	Unidad	Profundidad* 1	Clase**	Profundidad* 2	Clase**
Materia Orgánica	(%)	2.12	M	0.80	B
Carbono Orgánico	(abs)	0.282		0.130	
Fósforo	(mg kg <sup>-1</sup> )	8.15	M	5.35	B
Capacidad de intercambio catiónico	(cmol <sub>(+)</sub> Kg <sup>-1</sup> )	17.3	M	15.10	M
Potasio	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.07	MB	0.05	MB
Calcio	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	2.17	B	2.02	B
Magnesio	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0	MB	0	MB
Nitrógeno total	(%)	0.18	A	0.09	B
Ph		5.8	Ma	5.6	Ma

profundidad\* 1= 0-30 cm y 2 30-50 cm

Clase\*\* A= alto; M= media; B= bajo; MB= muy bajo; Ma= moderadamente ácidos.

### **2.3.3. Indicadores químicos y biológicos para evaluar el sistema agroforestal cacao (SAF cacao)**

En la Figura 2.6 se muestra el comportamiento de los contenidos de materia orgánica (MO), Carbono orgánico (CO), carbono orgánico soluble (COs) y Nitrógeno (N), en las épocas seca y húmeda a ocho profundidades (cada 20 cm). Estos parámetros están asociados de forma directa con el aporte orgánico de los árboles del SAF cacao y es evidente que, después de la primera profundidad, no hubo diferencias estadísticas entre las variables de una misma profundidad y ni en las diferentes épocas (se encontró un gradiente negativo conforme incrementó la profundidad), después de ésta, los valores obtenidos son estadísticamente iguales. Excepcionalmente el contenido del COs no mostró diferencia ni en la primera profundidad ni en ambas épocas estudiadas. Estos estudios coinciden con los obtenidos en otros suelos y en otros cultivos en los cuales se indica que el incremento de la profundidad se asocia inversamente con la calidad del suelo (Jobbágy y Jackson, 2001). En la época húmeda se observó, en general, un mayor contenido de los parámetros en estudio, lo que puede estar asociado a un incremento en la velocidad de mineralización (Abera, *et al.*, 2012), aunque llama la atención que el COs, que es mencionado como un parámetro muy confiable para observar los mencionados cambios (Figura 2.6c), no mostrara diferencias estadísticas entre épocas (Smethurst, 2000; Leenheer y Croué, 2003).

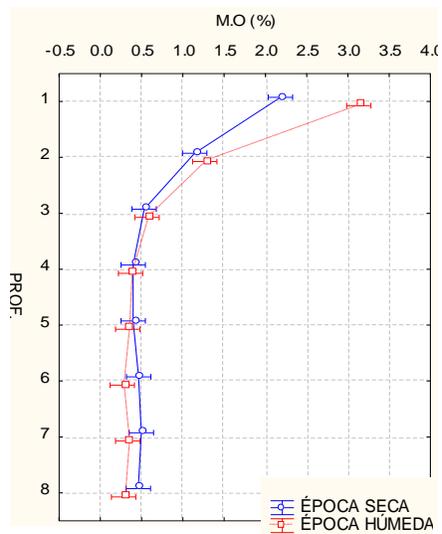


Figura 2.6a. Comportamiento de la M.O cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=13.140$ ,  $p=0000$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

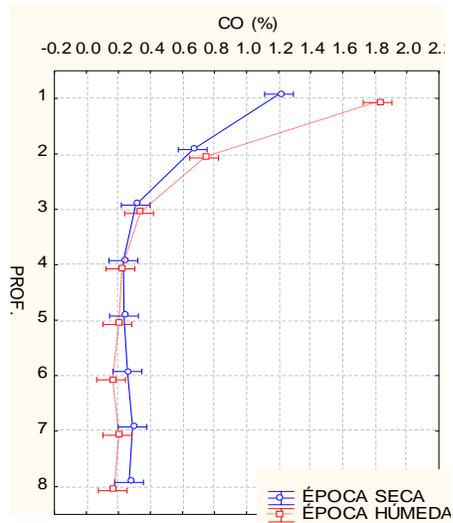


Figura 2.6b. Comportamiento del CO cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=14.319$ ,  $p=0000$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

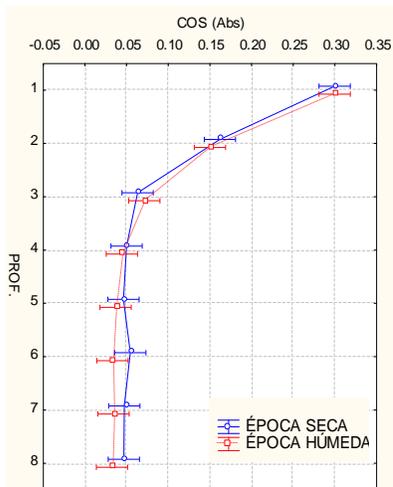


Figura 2.6c. Comportamiento del COS cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=48211$ ,  $p=0.84281$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

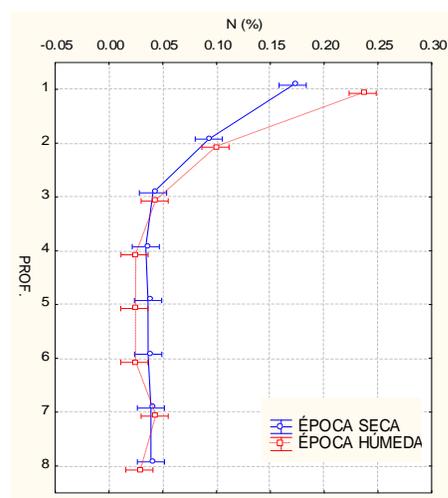


Figura 2.6d. Comportamiento del N, cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=8.5569$ ,  $p=00000$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

Figura 2.6. Comportamiento de la materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO), carbono orgánico soluble (COS) y nitrógeno (N) del suelo en la época seca y húmeda en el agroecosistema cacao

En la figura 2.7 se muestra el comportamiento de la CIC y las bases de intercambio. La CIC es una medida de la capacidad del suelo para absorber y liberar cationes; es importante para la estimación potencial de transporte y captura de contaminantes o elementos nutrientes que pueden ser suministrado por los suelos. De manera general, la CIC tendió a incrementar conforme la profundidad en las dos épocas; se observaron diferencias estadísticas entre épocas en las profundidades 40-60, 60-80 y 100-120 cm (3, 4 y 6), siendo para todos los casos mayor en la época seca (Figura 2.7a). El mencionado comportamiento es difícil de explicar y debe estar condicionado, más que nada, por la variabilidad espacial que existe en el terreno (Cambardella *et al.*, 1994). El K solo mostró diferencias estadísticas entre épocas en las profundidades 3, 5 y 8, entre ellas solo lo mostraron con la profundidad 6 (Figura 2.7a), dos aspectos son importantes de mencionar con respecto a este nutriente; por una parte los bajos y muy bajos contenidos observados en la época seca y los bajos y medios de la época húmeda y, por otra un abatimiento muy fuerte en sus contenidos en la profundidad 6 (100-120 cm).

El potasio, al ser el elemento que más se exporta de las plantaciones de cacao y, al no ser aplicado en dosis de fertilización, es un nutriente susceptible de agotarse del suministro edáfico (Aikpokpodion, 2010), no deja de llamar la atención que sea la cáscara (cascarilla) la que más nutrimento exporta del sistema, y que el productor no la esté reincorporando porque es hospedero de la mancha negra del cacao (*Phytophthora capsia*), sin embargo, con un manejo adecuado podría ser utilizada (Andrade, 2009).

El calcio (figura 2.7c) mostró diferencias estadísticas entre épocas sólo en las dos últimas profundidades, observándose los valores más altos en la época húmeda, y era de esperarse este tipo de resultado, por tratarse de un elemento muy soluble, tal como ha sido reportado por otros autores Ludwig *et al.* (1999), y Yemefack *et al.* (2005). Una de las grandes ventajas que tienen los sistemas agroforestales es que muchos de los nutrientes pueden ser reincorporados a la superficie del suelo por el aporte de hojarasca de los árboles, este efecto es llamado bombeo de nutrientes (Gallardo y Merino, 1998; Moreno *et al.*, 2005b; Asare, 2006a). El Mg (Figura 2.7d) presentó diferencias estadísticas en favor de la época húmeda sólo en la segunda profundidad, de allí, aunque hubo tendencia a ser más alta en la época mencionada, no fue evidente estadísticamente; el

Mg es un elemento de alta movilidad, la cual se ve favorecida por las altas precipitaciones (Hartemink, 2005).

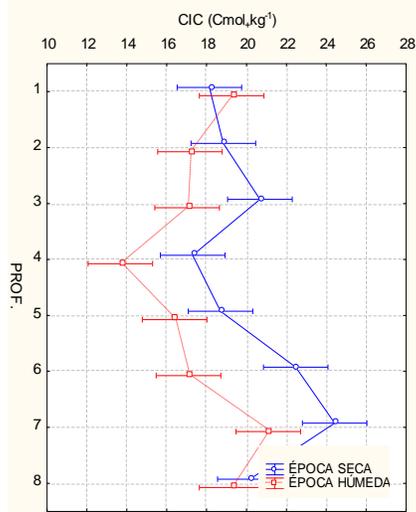


Figura 2.7a. Comportamiento de la CIC cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=3.0705$ ,  $P=0.00938$  las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

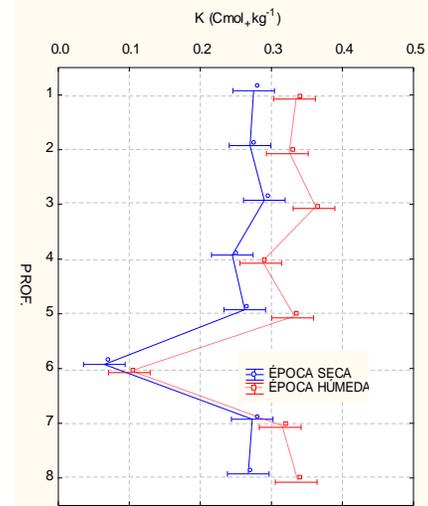


Figura 2.7b. Comportamiento del K cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=.4699$ ,  $p=.8514$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

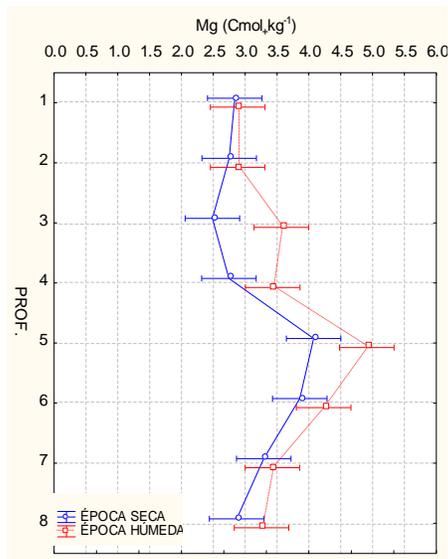


Figura 2.7d. Comportamiento del Mg, cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=1.5323$ ,  $p=0.17919$  las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

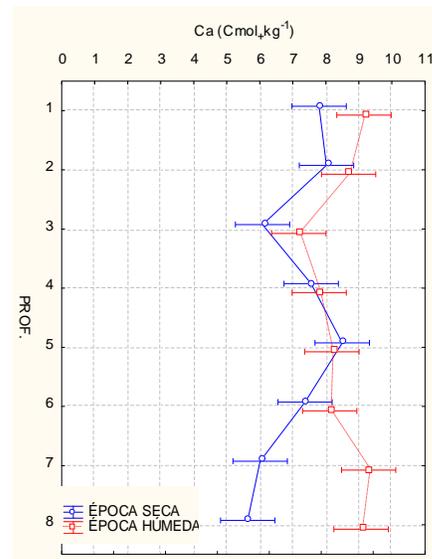


Figura 2.7c. Comportamiento del Ca cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=5.5328$ ,  $p=0.00010$ , las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

Figura 2.7. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), Potasio (K), Magnesio (Mg) y Calcio (Ca) del suelo en época seca y húmeda en el agroecosistema cacao.

Los análisis de fósforo muestran (figura 2.8a) que existen contenidos altos a medios en las tres primeras profundidades de la época seca, siendo estadísticamente diferente a la época húmeda, dichos valores pueden estar relacionados con la disminución de absorción de las plantas por falta de agua. Por otra parte, con los rendimientos actuales de la plantación la demanda del cultivo parece estar en equilibrio con el suministro del suelo, los contenidos encontrados en este estudio son los comúnmente observados en suelos poco perturbados (Vincenta *et al.*, 2010). Es importante considerar que si se quiere manejar la fertilización química para incrementar los rendimientos se deben hacer los ajustes correspondientes, ya que un mayor rendimiento conlleva una mayor demanda de nutrientes (Obrador *et al.*, 2004). El pH (Figura 2.8b) no mostró notables diferencias estadísticas en las diferentes épocas pero si se puede observar una variabilidad alta.

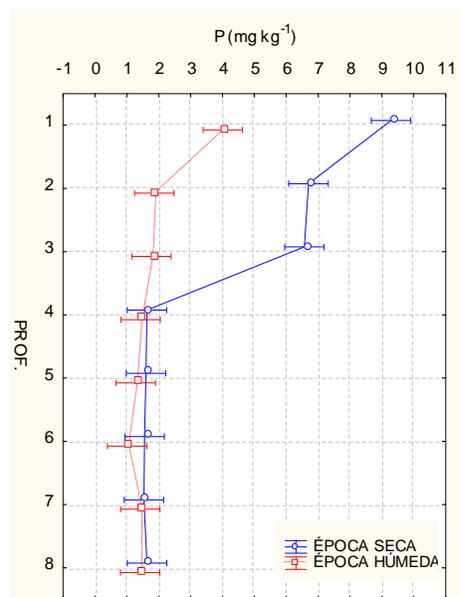


Figura 2.8a. Comportamiento del P cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal: F (7,48)=3.3662, P=0.00531 las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

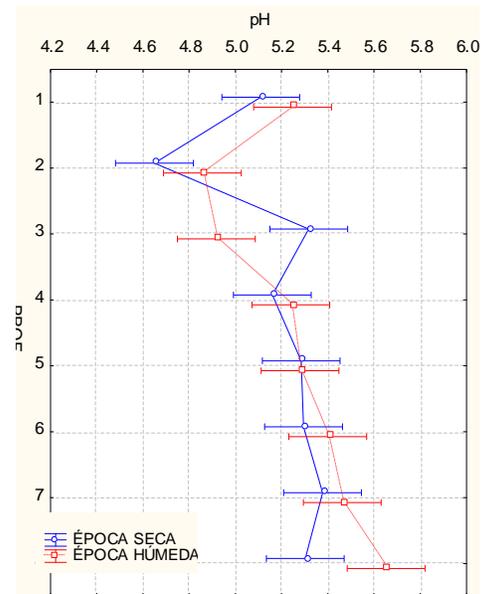


Figura 2.8b. Comportamiento del pH cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal: F (7,48)= 3.3662, p=0.00531. Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

Figura 2.8. Comportamiento del Fosforo (P) y pH del suelo en la época seca y húmeda, en el agroecosistema cacao

En el cuadro 2.4 se muestra una matriz de correlación de los distintos parámetros químicos estudiados. Es muy interesante observar que existe una buena correlación entre varias de las variables, sobre todo la MO con N ( $r= 0.981$ ), con COs de  $r= 0.959$ , COs con N con una  $r= 0.982$  y de hecho, el COs también tuvo una buena correlación con el P ( $r=0.698$ ), además mostró estar muy relacionado con parámetros biológicos y bioquímicos, y se ha descrito como un excelente y rápido indicador de la calidad del suelo (Haynes, 2000; Simonsson *et al.*, 2005). El Carbono orgánico lábil representado por el carbono orgánico disuelto o soluble (COs) es muy sensible a los cambios, es la fracción de carbono fácilmente mineralizable y fuente directa de energía para los microorganismos del suelo (Chan *et al.*, 2002).

Cuadro 2.4. Matriz de correlación entre los diferentes parámetros químicos estudiados en un Cambisol endogléyico (CMgin)

Nutrientes	Profundidad	N (%)	COs (ABS)	M.O (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	pH	CIC (Cmol+kg <sup>-1</sup> )	K
N	-0.689							
COs	-0.708	0.982						
M.O	-0.711	0.981	0.959					
P	-0.646	0.578	0.698	0.570				
Ph	0.608	-0.270	-0.416	-0.285	-0.332			
CIC	0.341	-0.012	-0.061	-0.028	0.079	0.3248		
K	0.192	-0.042	-0.078	-0.033	-0.078	0.0307	-0.0967	
Ca	-0.155	0.272	0.198	0.241	-0.078	0.0542	-0.2023	-0.2060

En la Figura 2.9 se muestra la macrofauna encontrada en los suelos, el número de monolitos analizados fue de 64 (en 8 perfiles), solo se hallaron en las dos primeras profundidades seis individuos (dos monolitos de dos perfiles) para la época seca y 15 en la húmeda (cuatro monolitos de cuatro perfiles). Los monolitos en los que se encontraron los macroorganismos fueron los de la parte superficial, donde la mayor cantidad de materia orgánica se encuentra (Alonso, 1987). Además, es en las primeras profundidades donde existe mayor cantidad de oxígeno, lo cual permite una mayor actividad de los organismos estudiados (Swift *et al.*, 1979; Couteaux, y Bolger, 2000; Fragoso, 2001; Huerta *et al.*, 2005). De hecho, las lombrices de tierra sólo se encontraron en los primeros 20 cm y en mayor número en la época húmeda (Figura 2.9a). De la clase Insecta sólo se

encontraron cuatro individuos en tres perfiles diferentes, dos de la época húmeda y uno de la seca (Figura 2.9b), y de la Gasterópoda sólo tres en tres diferentes perfiles (Figura 2.9c). El presente estudio mostró una baja cantidad de organismos, si se le compara con lo reportados para el SAF cacao por Ramírez (2009) que reporta un total de 299 individuos por m<sup>2</sup> para parcelas de 30 años y 628 m<sup>2</sup> en las de 50 años de uso, e incluso para bosques tropicales y el SAF plátano en donde Liu y Zou (2002) y Geissen *et al.* (2009) reportan 89 y 80 ind. m<sup>-2</sup>, respectivamente.

En la Figura 2.10 se muestra la longitud de densidad de raíces, se encontró que no hubo diferencias estadísticas significativas entre épocas ni en cada una de las profundidades; no obstante, si la hubo entre diferentes profundidades. Existe una cantidad importante de biomasa radical fina, en el primer metro de profundidad, los porcentajes de raíces hasta el primer metro fueron para la época húmeda y fueron en las primeras cinco profundidades: (0-20 cm) 30.8 %, (0-40 cm) 54.2 %, (0-60 cm) 84.5 %, (0-80 cm) 91.0 % y (0-100 cm) 96.0 %; y para la época seca: (0-20 cm) 35.7 %, (0-40 cm) 57.7 %, (0-60 cm) 70.0 %, (0-80 cm) 86.7.0 % y (0-100 cm) 92.3 %. Esta relación es importante porque permite tomar decisiones en la toma de muestras para los análisis de fertilidad, la profundidad de exploración de las raíces finas es un indicativo de la actividad de absorción de nutrimentos que tiene la planta (Luster *et al.*, 2009).

Estudios realizados para conocer la distribución radical de las plantas en los suelos señalan que la mayoría de las raíces finas o delgadas, que son las que absorben nutrimentos, se encuentran en los primeros 50 cm del perfil (Pritchett, 1990) y gran parte de la actividad microbiana (mineralización) se realiza en los primeros 30 cm, pudiendo ser menor si no se hace laboreo de suelos (Donoso *et al.*, 1999). No obstante, la distribución de la especie en estudio está muy influenciada por la calidad del sitio (Sánchez, 1984), tipo de suelo, edad de la planta (Dwyer *et al.*, 1996) y distintas prácticas silviculturales como el laboreo (Madeira *et al.*, 1989), la fertilización y el riego (Fabiao *et al.*, 1995) y las interrelaciones árbol-cultivo (Jose *et al.* 2004; Moreno *et al.*, 2005b). La densidad de longitud de raíces finas para el SAF cacao se encuentran en el orden de lo encontrado para otros estudios con manejos parecidos (Mora y Beer, 2012) y por debajo de lo

encontrado en otros en los que la asociación está dada sobre todo con plantas anuales (Joffre *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2005a; Mulia y Dupraz, 2006).

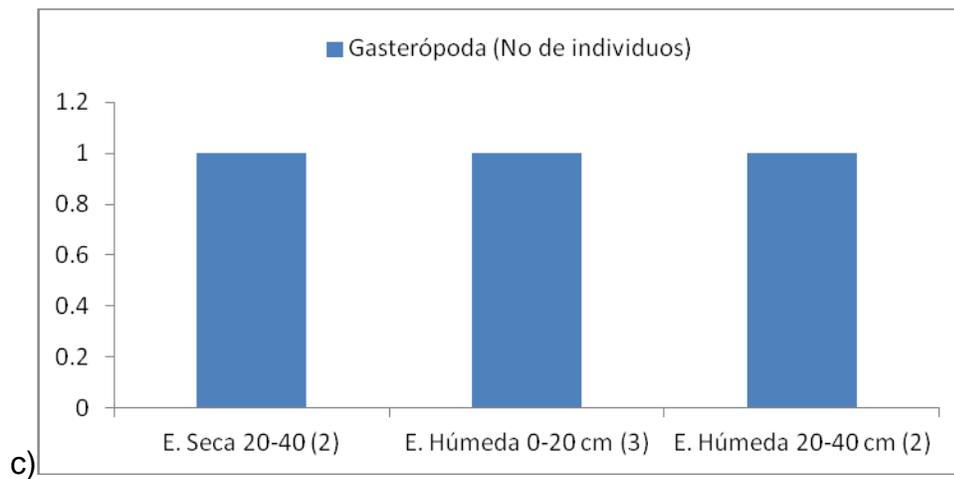
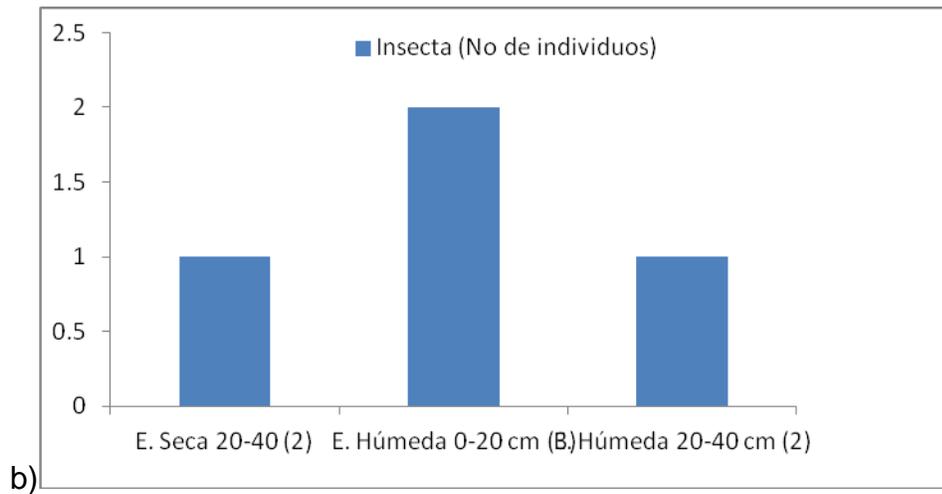
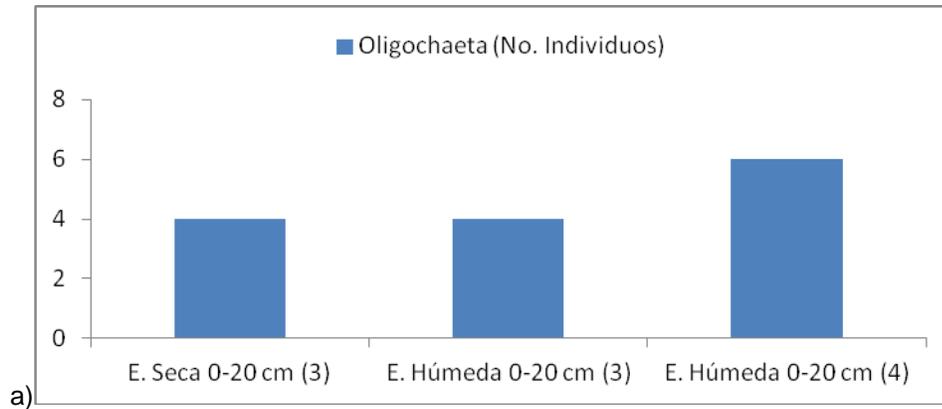


Figura 2.9. (a,b,c.). Comportamiento de la macrofauna (Clase) en el suelo en las épocas seca y húmeda de la plantación de cacao estudiada

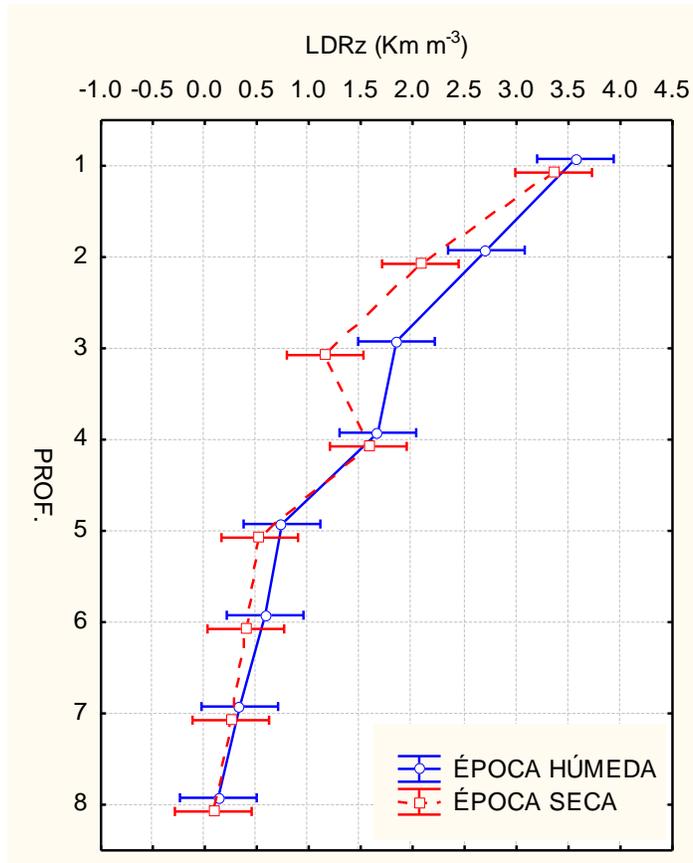


Figura 2.10. Densidad de longitud de raíces finas (<3mm) en el SAF cacao cada 20 cm y hasta 160 cm de profundidad (8), efecto principal:  $F(7,48)=0.92447$ ,  $P=0.49605$  las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

## 2.4. CONCLUSIONES

El SAF cacao mostró:

Mayores contenidos (diferentes estadísticamente) de M.O y N, en la época húmeda y en la primera profundidad; caso contrario sucedió con el P donde los mayores contenidos se obtuvieron en la época seca y en las primeras tres profundidades. Los demás análisis mostraron similitudes estadísticas en ambas épocas.

La MO a pesar de que se encuentra en un sistema en el cual no se ve afectada por el manejo del cultivo (quemadas o laboreo), mostró en ambas épocas mayormente, solo contenidos medios, lo que llama la atención ya que se tiene constantes aportes de hojarascas y raíces.

En las dos épocas estudiadas se encontraron por lo general, bajos contenidos de bases de intercambio, siendo preocupantes los muy bajos contenidos de Mg, pero sobre todo los de K debido a que este elemento es el de mayor demanda la plantación.

Poca cantidad de organismos aun si se le compara con sitios en los que se realiza agricultura poco sustentable, no obstante, se encontraron más organismos en la época húmeda.

La densidad de longitud de raíces finas (<3 mm) indica que hay una exploración importante de la biomasa radical extractora de nutrientes (alrededor de 100 cm de profundidad) razón por la que en estudios posteriores en los que se quiera estimar el suministro del suelo, se debe tener muy en cuenta la profundidad de muestreo.

## 2.5. LITERATURA CITADA

- Abera G., Wolde M. E., Sheleme B. y Bakken L. R. 2012. Nitrogen mineralization dynamics under different moisture regimes in tropical soils. *International journal of soil science*. 7(4): p. 132-145.
- Aikpokpodion P. E. 2010. Nutrients Dynamics in Cocoa Soils, Leaf and Beans in Ondo State, Nigeria. *J Agri Sci*. 1(1): p. 1-9.
- Alonso V. R. 1987. Contribución de la hojarasca al ciclo de nutrientes, dinámica nutrimental de las hojas. Montecillo, Edo. México. Colegio de Postgraduados. 34 p.
- Andrade N. P. 2009. Manual del cultivo de cacao para la amazonia ecuatoriana. Manual No. 76. Instituto Nacional Autónomo De Investigaciones Agropecuarias Estación Experimental Central de la Amazonía DENAREF - Unidad De Recursos Fitogenéticos. Quito, Ecuador. 25 p.
- 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.
- Asare R. 2006a. Learning about neighbor trees in cocoa growing systems- a manual for farmer trainers. The Danish Centre for Forest, Landscape and Planning (KVL), Horsholm. 13 p.
- Avendaño A. C. H., Villarreal F. J. M., Campos R. E., Gallardo M. R. A., Mendoza L. A., Aguirre M. J.F., Sandoval E. A. y Espinosa Z. S. 2011. Diagnóstico del cacao en México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo de México. 45 p.
- Bohm W. 1979. Methods of studying root systems. *Ecological studies*. Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. 33: 183 p.
- Brown G. G., Moreno A. G., Barolis L., Fragoso C., Rojas P., Hernandez B., y Patrón J. C. 2004, Soil Macrofauna In Mexican Pastures And The Effect Of Conversion From

- Native To Introduced Pastures. *Agricultura, Ecosystems And Environment*. 103: p. 313-327.
- Cambardella C. A., Moorman T. B., Novak J. M., Parkin T. B., Karlen D. L., Turco R. F. y Konopka A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: p. 1501-1511.
- Chander K., Goyal S., D. P., Nandal K. y Kapoor K. 1998. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. *Biol Fertil Soils*. 27: p. 168–172.
- Chan K., Heenan D., y Oates A. 2002. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and Tillage Research*. 63: p. 9-133.
- Córdova A. V., Mendoza P. J. D., Vargas V. L., Izquierdo R. F. y Ortiz G. C. F. 2008. Participación de las organizaciones campesinas en el acopio y comercialización del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*. 24(2): p. 147-158.
- Couteaux M. M. y Bolger T. 2000. Interactions between atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment and soil fauna. *Plant and Soil*. 224: p. 123–134.
- Cuanalo de la C, H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- Donald P. E. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production Systems. *Issues in international conservation. Conservation biology*. 18:p. 17-37
- Donoso S., Obispo A., Sánchez C., Ruiz F. y Herrera M. 1999. Efecto del laboreo sobre la biomasa de eucalyptus globulus en el suroeste de España. *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* 8 (2): p. 377-386.
- Doran J. W. y Safley M. 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. En: Pankurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford, p. 1–28.

- Doran J. W. y Zeiss M. R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: p. 3–11.
- Doran J. W. y 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. 25 p
- Dwyer L., Ma B., Stewart D., Hayhoe H., Balchin D., Culley J. y Mc Govern M. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canadian Journal of Soil Science*. 76: p. 23-28.
- Fabiao A., Madeira M. V., Steen E., Katterer T., Ribeiro C. y Araújo C. 1995. Development of root biomass in an Eucalyptus globules plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and Soil*. 168: p. 215–223.
- Fragoso C. 2001. Las lombrices de tierra de México (Annelida Oligochaeta): Diversidad, Ecología y Manejo. Instituto de Ecología A.C. *Acta zoológica México Número especial*. 1: p. 131-171.
- Gallardo A. y Merino J. 1998. Soil nitrogen dynamics in response to carbon increase in a Mediterranean shrubland of SW Spain. *Soil Biology Biochemistry*. 30 (10/11): p. 1349-1358.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ta. Edic. Edit. Indianápolis. D. F. México. 246 p.
- García L. J. L., 1983. Los árboles utilizados como sombra de cacao (*Theobroma cacao* L) en Comalcalco, Tabasco. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo. 36 p.
- Geissen V. y 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: p. 169-178.

- Geissen V., Peña P. K. y Huerta E. 2009. Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiologia*. 53: p. 75-86.
- Greenberg R., Bichier P. y Cruz A. A. 2000. The conservation value for birds of cacao plantations with diverse planted shade in Tabasco, Mexico. *Animal Conservation* 3: p. 105-112.
- Hartemink A. E. 2005. Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystem: a review. *Advances in Agronomy*. 86: p. 227-253.
- 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): p. 211-9.
- Huerta E., Rodríguez O. J., Evia C. I., Montejó M. E., de la Cruz M. M. y García H. R. 2005. La diversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta) en el Estado de Tabasco, México. *Univ. Ciencia*. 21(42): p. 73-83.
- 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.
- IFA (World Fertilizer Use Manual). 1992. International Fertilizer Industry Association. Paris. 632 p.
- INEGI. 1999. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Cuaderno estadístico Municipal. Huimanguillo, Tabasco.
- Isaac M. E., Timmer V. R. y Quashie S. S. J. 2007. Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutr Cycl Agroecosyst*. 78: p. 155-165.
- 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.
- IUSS-WRB. 2007. Grupo de Trabajo Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 130 p.
- 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. y de la Cruz P. A. 2011. Diagnostico De La Microrregión De Atención Prioritaria: Huimanguillo. Colegio De Postgraduados, Campus Tabasco. 73 p.
- Jobbágy E. G. y Jackson R. B. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry*. 53: p. 51-77.
- Joffre R., Rambal S. y Ratte J. P. 1999. The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic. *Agroforestry Systems*. 45: p. 57-79.
- Jose S., Gillespie A. R. y Pallardy S. G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*. 61: p. 237-255.
- Kass D. C. L., Sylvester B. R. y Nygren P. 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the americas. *Soil Bio/ Biochem*. 29. (5/6): p. 715-185.
- Labrador M. J. 1996. La materia orgánica en los Agroecosistemas. Coedición. Ministerio De Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 174 p.
- Leenheer J. A., y Croué J. P. 2003. Characterizing dissolved aquatic organic matter. *Environ. Sci. Technol*. 37: p. 18-26.
- Liu Z.G. y Zou X. M. 2002. Exotic earthworms accelerate plant litter decomposition in a Puerto Rican pasture and a wet forest. *Ecol. Appl*. 12(5): p. 1406–1417.

- Luster J., Göttlein A., Nowack B. y Sarret G. 2009. Sampling, defining, characterising and modeling the rhizosphere—the soil science tool box. *Plant Soil*. 321: p. 457-482.
- Ludwig B., Khanna P. K., Holscher D. y Anurugsa B. 1999. Modelling changes in cations in the topsoil of an Amazonian Acrisol in response to additions of wood ash. *Eur. J. Soil Sci.* 50 (4): p. 717– 726.
- MacDiken K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry projects. Arlintong, V. A, U. S, Winrock Internatinal. 87 p.
- Madeira M. V., Melo M. G., Alexandre C. A. y Steen E. 1989. Effect of deep ploughing and superficial disc harrowing on physical and chemical soil properties and biomass in a new plantation of *Eucalyptus globulus*. *Soil and Tillage Research*. 14: p. 163-175.
- Mora A. y Beer J. 2012. Geostatistical modeling of the spatial variability of coffee fine roots under *Erythrina* shade trees and contrasting soil management. 25 p.
- Moreno G., Obrador J. J., Cubera E. y Dupraz C. 2005a. Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil*. 277: 153-162.
- Moreno G., Obrador J. J. García E., Cubera E., Montero M. J., Pulido F. y Dupraz C. 2005b. Competitive versus facilitative interactions in oak dehesas determined by management practices. *Agrofor. Syst.* 70: p. 25-40
- Mulia R. y Dupraz C. 2006. Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in Southern France: what consequences for modeling of tree root dynamics. *Plant Soil*. 281: 71–85.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. 85p.
- Obrador J. J., García L, E., y Moreno, G. 2004. Consequences of dehesa land use on nutritional status of vegetation in Central-Western Spain. In *Advances in*

- GeoEcology 37: Sustainability of Agrosilvopastoral systems –Dehesas, Montados-. Eds. S Schnabel and A Ferreira. Catena Verlag, Reiskirchen. p. 327-340.
- Palma L. D. J., Cisneros D. J., Moreno C. E. y Rincón R. J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Priego C. G. A., Galmiche T. A., Castelán E. M., Ruiz R. O. y Ortiz C. A. L. 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): p. 39-57.
- Pritchett, W. 1990. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. John Wiley. y Sons. Editorial Limusa, S. A. México. D.F. p 132-213.
- 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.
- Rodríguez I., Crespo G., Rodríguez C., Castillo E. y Fraga S. 2002. Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas para la ceba de toros. Rev. Cubana de ciencia agrícola, Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 36 (2), p. 181-186.
- Rossi J. P., Franc A. y Rousseau G. X., 2009. Indicating soil quality and the GISQ. Soil Biology & Biochemistry. 41: p. 445-444
- Salazar A. C. 2002. Cacao orgánico, Curso-Taller. En: Producción orgánica de cacao en Tabasco. SEDAFOP-SAGARPA-ITSC. Tabasco, México. 25 p.
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Zavala C. L., Lagunes E. L. C., Castelán E. M., Ortiz G. F., Juárez L. J. F., Ruiz R. O., Armida A. L., y Rincón R. J. A., 2009. Sistema Integrado

- Para Recomendar Dosis De Fertilizantes En Caña De Azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio De Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84p.
- Sanderman J., Baldock J. A. y Amundson R. 2008. Dissolved organic carbon chemistry and dynamics in contrasting forest and grassland soils. *Biogeochemistry*. 89: p. 181-198.
- Sánchez de La P, L. 1984. La alimentación mineral de las plantas. Temas de divulgación. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Diputación de Salamanca, España. 29 p.
- 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.
- Schlegel B., Gayoso J. y Guerra J. 2000. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. 23 p.
- SIAP-SAGARPA. 2011. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 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](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=184). 07/11/11.
- Simonsson M., Kaiser K., Andreux F. y Ranger J. 2005. Estimating nitrate, dissolved organic carbon and DOC fractions in forest floor leachates using ultraviolet absorbance spectra and multivariate analysis. *Geoderma*. 124: p. 157-168.
- Smethurst P. J. 2000. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: A review. *For. Ecol. Manage.* 138: p. 397-411.
- 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.

- Swift M. J., Heal O. W. y Anderson J. M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 18 p.
- Torres de la C. M., Ortiz G. C. F., Téliz O. D., Mora A. A., y Nava D. C. 2011. Temporal progress and integrated management Of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) OF COCOA en Tabasco, Mexico. *Journal of Plant Pathology*. 93 (1): p. 31-36.
- USDA. (Soil quality definitions United States). 199. <http://soils.usda.gov/sqi/concepts/concepts>. 12/02/11.
- Van Noordwijk M. y de Willigen P. 1991. *Root functions in agricultural systems. Plant roots and their environment*. Amsterdam, Netherland. Elsevier Ltd. P. 381-395
- Van Noordwijk M., Lawson G., Soumare A., Groot J. J. R. y Hairiah A. 1996. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. En: C.K. Ong and P. Huxley (eds.), *Tree-crop interactions: A Physiological approach*. CAB International, Wallingford. P. 319-364.
- Van Straaten O. E., Veldkamp, M., Kohler y Anas L. 2009. Drought effects on soil CO<sub>2</sub> efflux in a cacao agroforestry system in Sulawesi, Indonesia *Biogeosciences Discuss*. 6: p. 11541-11576.
- Vincenta A. G., B. Turner L. y Tanner E. V. J. 2010. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science*. 61. p. 48-57.
- Yemefack M., Rossiter D. G. y Njomgang R. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*. 125. P. 117-143.

**CAPITULO III. EVALUACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR  
(*Saccharum* spp) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO Y SU  
ESTABILIDAD ESTACIONAL EN ÉPOCAS SECA Y HÚMEDA**

# EVALUACIÓN DEL AGROECOSISTEMA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO EN ÉPOCAS SECA Y HÚMEDA

Guillermina Pascual Córdova, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

## Resumen

El agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum spp*), es importante para Tabasco, por ser un propulsor de trabajo y la economía de los productores, actúa como secuestrador de emisiones de carbono del que emite la quema de combustible fósil en el país. Para evaluar la calidad del suelo, se realizaron muestreo de suelos y análisis químicos (NOM-021-RECNAT-2000), biológicos (USDA; 1999) y de biomasa radical (Moreno *et al.*, 2005) en ocho perfiles a ocho profundidades, durante un año en las épocas: seca y húmeda. La mayoría de los indicadores químicos no mostraron diferencia estadísticas entre épocas, pero las bases de intercambio catiónico presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos épocas. La época húmeda presentó menor CIC que en la época seca. Se encontraron muy pocos organismos, la clase nematodo fue la única encontrada en las dos épocas (10 individuos en total), en las dos primeras profundidades (0-20 y 20-40 cm). La densidad de longitud de raíces finas (DLRz km m<sup>-3</sup>) se encontró mayormente en la profundidad de 0-140 cm; con valores de 92.5 y 90 %, para la época húmeda y seca, respectivamente.

**Palabras clave:** fertilidad de suelo, macro-organismos, densidad de longitud de raíces finas.

# EVALUATION OF SUGARCANE AGROECOSYSTEM (*Saccharum* spp) USING INDICATORS OF SOIL QUALITY IN DRY AND WET SEASONS

Guillermina Pascual Córdoba, MC.

Colegio de Postgraduados, 2013

## Abstract

The sugarcane (*Saccharum* spp) agroecosystem, is important for Tabasco, by being a propeller of labor and economics for producers, acts as carbon sequestering emitted by the burning of fossil fuel in the country. To assess the quality of the soil, and soil sampling conducted chemical analyzes (NOM-021-RECNAT-2000), biological (USDA, 1999) and root biomass (Moreno et al., 2005) in eight soil profiles and eight depths, One year into two seasons: dry and wet. Most chemical indicators showed no statistical difference between seasons, but cation exchange bases showed significant statistical differences between the two seasons, the wet season had less content than in the dry season, very few organisms were found, the class Nematoda was the only one found in the two seasons (10 individuals in total), in the first two depths (0-20 and 20-40 cm). The density of fine root length (DLRz km m<sup>-3</sup>) was found mostly in the 0-140 cm depth, with values of 92.5 and 90%, for the wet and dry seasons, respectively.

**Key words:** fertility of soil, macro-organisms, root length density fine.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum* spp), es un cultivo de importancia económica, social y ambiental. Rodríguez (2004) estima que con la caña de azúcar ocurre una emisión de carbono del 20 % del que emite la quema de combustible fósil en el país. En México se tienen sembradas 774,243 ha, con un rendimiento de 69.645 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2011). Para el estado de Tabasco este cultivo es un propulsor de la economía de los productores, se tienen sembradas 32,079 ha, con un rendimiento registrado para la última zafra de 48.81 t ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2011), este cultivo es trascendental en los municipios de Balancán, Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo y Tenosique del estado de Tabasco.

El manejo que se da al agroecosistema caña de azúcar, en la mayoría de las regiones cañeras de México, es de baja sustentabilidad ambiental, sin embargo mantiene una alta sustentabilidad social y económica (Carrillo *et al.*, 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 materia orgánica (MO) es importante en suelos dedicados a la agricultura, porque 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 (Sá Mendonca *et al.*, 2001); es fuente de energía y habitat específico para la biomasa edáfica (Julca, *et al.*, 2006); desafortunadamente se ve afectada en 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), en consecuencia pasa lo mismo con 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 (Etchevers y Volke, 1991), siendo los más comunes la MO y sus componentes, contenido de arcilla, pH, macroelementos y macrofauna edáfica (Zerega *et al.*, 1994; Salgado *et al.*, 2010). La diversidad de la fauna edáfica y la distribución de longitud de raíces finas se encuentran

relacionadas con la materia orgánica (Theng *et al.*, 1989) y ésta, a su vez, con la profundidad; la mayor exploración de las raíces finas y desarrollo en número de organismos edáficos se observa en las primeras profundidades, notándose una disminución a partir de los 30 cm (Bastidas *et al.*, 2011). El manejo y conservación de la materia orgánica en los agroecosistemas juega un papel muy importante, los agroecosistemas con menor grado de degradación muestran mayor variedad y número de macrofauna (Lavelle *et al.*, 1994).

El agroecosistema caña de azúcar es un cultivo que aporta una importante variedad de residuos orgánicos: punta, tallos tiernos, hojas viejas, raíces (alrededor del 45 % de MS total), que, debido al manejo del cultivo no son incorporados al cien por ciento al suelo (se requeman) y, al tratarse de un monocultivo, la degradación del suelo puede llegar al grado de presentar niveles importantes de infertilidad (Laird *et al.*, 1993; Obrador 2009). La materia orgánica, es precursora de las diferentes formas de carbono del suelo, factor clave en la fertilidad debido a la posición fundamental en los ciclos biogeoquímicos, tiene una marcada influencia sobre la biota del suelo (fuente de nutrientes) y bajo un manejo racional contribuye con una importante cantidad de nutrientes al suelo (Bautista *et al.*, 2004).

Los contenidos de la materia orgánica favorecen la respuesta del suelo a la aplicación de nutrientes, ya que influye directamente sobre las propiedades físicas; las sustancias húmicas actúan como cementante para que se establezca la unión entre las partículas minerales y lo biológico. Los materiales orgánicos del suelo regulan el estado óxido-reductor del medio y, mejorando las propiedades físicas del suelo, se favorece la respiración radicular, constituyéndose una reserva de energía metabólica para el desarrollo la biomasa microbiana y químicas es decir los materiales edáficos también modifican las propiedades químicas del suelo, sobre todo las relacionadas con la carga eléctrica, debido a los numerosos grupos funcionales (COOH-, OH-) que se encuentran presentes en las sustancias húmicas, esto les confiere una alta capacidad de intercambio iónico y, como consecuencia, se incrementa el poder de adsorción de macro elementos como Ca, Mg, Na, K, N (Labrador, 1996).

La MO del suelo es un parámetro que se determina fácilmente en el laboratorio y se ha utilizado como un indicador de la sustentabilidad edáfica, tanto para caña de azúcar como para otros cultivos (Pérez *et al.*, 2007). Según Pérez *et al.* (2010), Suelos con contenidos bajos de MO (<3.0 %) requieren 1.14 kg de Nitrógeno por cada tonelada de Caña producida, sin embargo, cuando tenemos suelos con contenidos medios o altos de MO la relación del Nitrógeno por tonelada de Caña es menor (1.0 %), lo que afirma el hecho de que la materia orgánica es importante en los ámbitos ambiental, económico y social.

La macrofauna desempeña una gran variedad de funciones que favorecen la estructura del suelo, la fertilidad, la infiltración y la mineralización de los nutrientes (Curry, 1987; Curry y Good 1992; Baretta *et al.*, 2010; Lang *et al.*, 2011), además, de la recuperación de áreas degradadas (Brown y Fragoso, 2003; Lavelle *et al.*, 2006). La macrofauna se encuentra compuesta por organismos de más de 2 mm de longitud, que se mueven activamente a través del suelo y pueden elaborar galerías en las cuales viven (Lavelle *et al.*, 2006). Geissen y Morales (2005) consideran que la macrofauna del suelo es un buen indicador para evaluar la calidad del suelo, ya que reacciona a los impactos causados por prácticas de manejo del suelo (secuencia de cultivos, método de preparación del suelo, ingreso de materia orgánica fresca, etc.) pudiendo tener efectos positivos o negativos. La cantidad de organismos encontrados en algunos sistemas depende en gran medida del sitio de muestreo, temporada y año (Brown *et al.*, 2004)

Las raíces finas son importantes para las plantas, ya que extraen nutrientes del suelo (Polonia, 2004), son órgano de reserva de nutrientes, encargadas de la regulación fisiológica de la planta, fijadoras de carbono, además ayudan en la aireación del suelo (Azevedo *et al.*, 2011). Aunque la mayor densidad de raíces (90 %) se ubica en los primeros 60 cm del suelo, pueden alcanzar profundidades máximas de hasta 1.30 m (Avilan *et al.*, 1977; Linárez, 2009). La importancia de realizar el estudio en el cultivo de caña de azúcar se debe a que el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar dependen, en gran medida, del sistema radical por la absorción de los nutrientes que se encuentran en la solución del suelo, a este mecanismo se le conoce como intercepción.

Por todo lo anterior el presente trabajo, tuvo la finalidad de evaluar la sustentabilidad del agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum* spp) a través de indicadores de la calidad de suelo y su estabilidad estacional en dos épocas del año (seca y húmeda).

## 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.2.1. Área de estudio

El estudio se realizó de Julio de 2011 a abril de 2012, en la región de la Chontalpa Tabasco, en el campo experimental (km 21) del Campus Tabasco-CP, las coordenadas de su ubicación son 17°59'10.90" latitud norte y 93°35'29.64" longitud oeste. La ubicación geográfica de la parcela de estudio se muestra en la Figura 3.1.

La zona cañera del estado de Tabasco presenta el clima característico del trópico húmedo, de acuerdo al sistema de Köppen se clasifica como Am(g)w", con presencia de 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 representativa para 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 lluviosos (septiembre y octubre) (García, 1988).

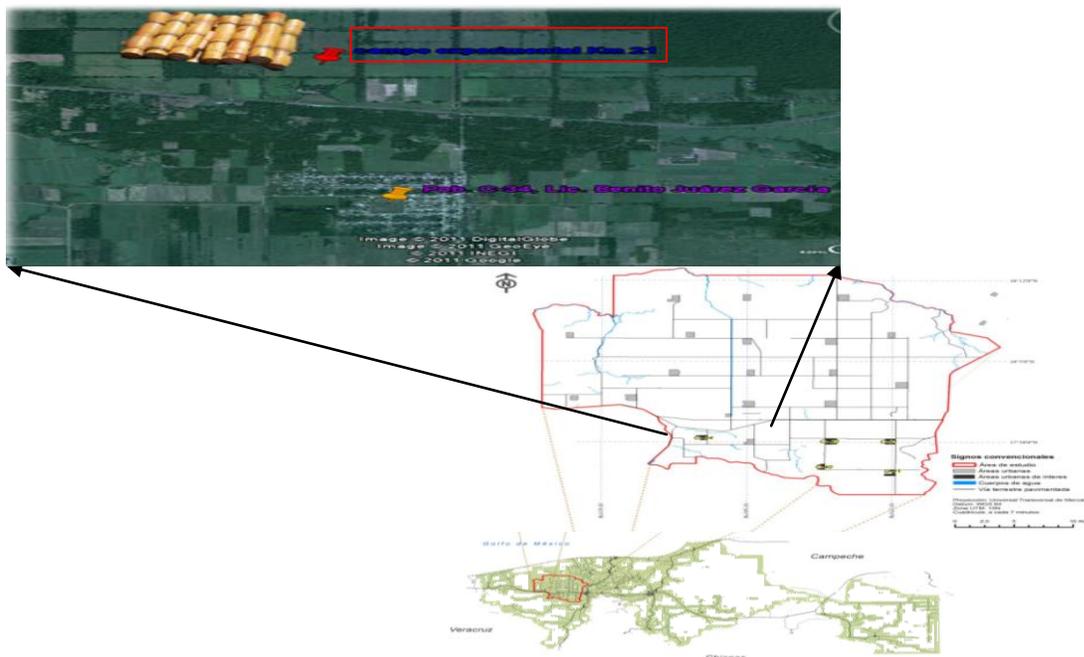


Figura 3.1. Ubicación geográfica del área de estudio

Los suelos de la región pertenecen a una zona de llanura aluvial baja (figura 3.2), que se extiende en una superficie de 516,647 ha, fisiográficamente constituye un área plana de origen aluvial, del Cuaternario Reciente principalmente, 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). La mayor parte de los suelos de la llanura aluvial baja presentan características de alta fertilidad natural, son ricos en casi todos los nutrimentos requeridos por las plantas, aunque se detectan respuestas al aporte de nitrógeno y fósforo principalmente, en la mayoría de los cultivos. Sin embargo, sus propiedades físicas son adversas, ya que presentan texturas arcillosas del tipo 2:1 que dificultan la circulación del agua y el aire en su interior; por lo tanto, en estas tierras es común encontrar obras de drenaje que facilitan la salida de los excesos de agua en la época de alta precipitación; aunque son suelos profundos, las raíces de los cultivos tienen problemas de anclaje debido a que el manto freático siempre se encuentra alto, cercano a la superficie del suelo (Palma *et al*, 2007). Los suelos dominantes en la zona son los Vertisoles y Gleysols (Palma *et al*, 2007; Salgado *et al*, 2009; Juárez *et al.*, 2011).

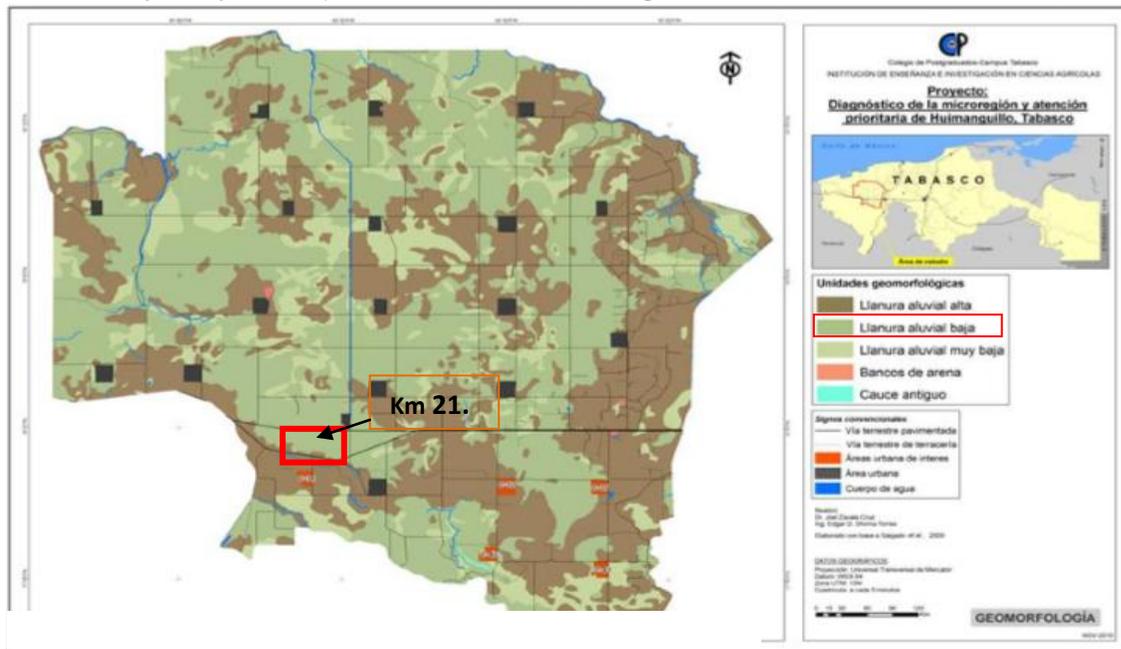


Figura 3.2: Mapa de geomorfología donde se ubica el área de estudio, Fuente: Elaboración propia con base a Microrregión de Atención Prioritaria 2011

### **3.2.2. Fase 1: Caracterización de la unidad de suelo**

Para la descripción de la unidad de suelo (Figura 3.4), se realizó una calicata de 1.80 m de profundidad, siguiendo la metodología propuesta por Cuanalo (1990). Para deducir la unidad de suelos en la parcela experimental se recurrió a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2007). Se selecciono una plantación de caña de azúcar de aproximadamente 20 años de uso en esta actividad.

Así se sitúo en una unidad Vertisol, suelos característicos de producción cañera, en la planicie de Tabasco (Palma *et al.*, 2007).

Las muestras tomadas de la calicata, en cada horizonte fueron trasportadas al laboratorio de Análisis Químico de suelos, planta y aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, para realizarles los análisis químicos que se muestran en el Cuadro 3.1.

### **3.2.3. Fase 2: Diagnostico nutrimental de suelos**

Se tomaron muestras con barrena tipo holandesa a dos profundidades 0-30 cm y 30-50 cm, cada una de las dos muestras compuestas se conformó de 15 submuestra tomadas aleatoriamente en zig-zag en todo el terreno. Las muestras se prepararon para realizarles análisis de: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MOS), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el laboratorio de Análisis Químico de suelos, planta y aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, según la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Cuadro, 3.1).

Cuadro 3.1. Métodos utilizados en cada uno de los análisis químicos de suelo

Parámetros	Métodos	Metodología
pH	CaCl <sub>2</sub> (1:2)	NOM-021- RECNAT-2000
Materia Orgánica	Combustión húmeda Walkley and Black	
Nitrógeno total	Semi-micro Kjeldahl (modificado para incluir nitratos)	
Fosforo disponible	Olsen (suelos neutros y alcalinos)	
Capacidad de Intercambio Catiónico	Extracción con acetato de amonio	
Bases intercambiables	Na, K, Ca y Mg	
Textura	Bouyoucos	

### 3.2.4. Fase 3: Determinación de los indicadores químicos y biológicos para la evaluación del agroecosistema

Para la determinación de la macrofauna edáfica, organismos que tienen la función de modificar el suelo, ya sea por sus movimientos o su hábitos alimenticios (Álvarez 2005), se procedió a tomar las muestras de las cuatro caras del perfil, hasta una profundidad de 60 cm, durante la época húmeda y seca, con ayuda de cubos metálicos (MacDiken, 1997; Schlegel *et al.*, 2000), estos tienen medidas de 25 X 25 cm x 20 de altura, y están abiertos en la parte superior e inferior (Figura 3.3), para conocer la diversidad de los organismos edáficos, se obtuvieron tres monolitos por perfil (de forma vertical), las muestras se colocaron en bolsas de plástico con su identificación correspondiente: cultivo, número de monolito, profundidad, época del año y fecha, fueron llevadas al Laboratorio de Entomología del Campus Tabasco donde los organismos edáficos fueron separados del sustrato (suelo) y depositados en frascos con alcohol al 70 %, y fueron etiquetados con los datos de las muestras, se revisaron 12 muestras de suelo por cada época, siendo un total de 24 muestras durante el año. Con un microscopio estereoscópico se identificaron los organismos colectados y fueron separados en los principales grupos taxonómicos (Clase y Orden) (USDA; 1999).



Figura 3.3. Diseño de cubos metálicos utilizados para la extracción de muestras de suelos para la clasificación taxonómica de los organismos

### 3.2.5. Diseño experimental y tratamientos

El análisis de datos se realizó (programa SAS) con apego a un diseño completamente al azar con un arreglo factorial en el que se consideraron dos épocas (seca y húmeda) y ocho profundidades por cada uno de los cuatro perfiles, las variables analizadas fueron: materia orgánica (MO), pH, textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (NOM-021-RECNAT-2000).

Cuadro 3.2. Tratamientos estudiados para los indicadores químicos

N°	Tratamiento.	Denominación.
1	EpSp1	Época seca + profundidad 0-20cm
2	EpSp2	Época seca + profundidad 20-40cm
3	EpSp3	Época seca + profundidad 40-60cm
4	EpSp4	Época seca + profundidad 60-80cm
5	EpSp5	Época seca + profundidad 80-100cm
6	EpSp6	Época seca + profundidad 100-120cm
7	EpSp7	Época seca + profundidad 120-140cm
8	EpSp8	Época seca + profundidad 140-160cm
9	EpHp1	Época húmeda + profundidad 0-20cm
10	EpHp2	Época húmeda + profundidad 20-40cm
11	EpHp3	Época húmeda + profundidad 40-60cm
12	EpHp4	Época húmeda + profundidad 60-80cm
13	EpHp5	Época húmeda + profundidad 80-100cm
14	EpHp6	Época húmeda + profundidad 100-120cm
15	EpHp7	Época húmeda + profundidad 120-140cm
16	EpHp8	Época húmeda + profundidad 140-160cm

Para determinar el grado de asociación entre variables que en este caso son los análisis químicos, se estableció análisis de correlación entre las variables de Nt, MO, COS, P, bases intercambiables, CIC, textura, entre otras. Con ayuda del programa SAS.

#### **3.2.6. Fase 4: Determinación de la distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR)**

Se realizaron muestreos en la época seca y húmeda, en la misma forma y número que el que se hizo para el estudio de indicadores químicos y biológicos de la calidad edáfica, los monolitos utilizados tienen dimensiones de 7.0 x 7.0 cm y 20 cm de alto, cada muestra de suelo obtenida fue colocada cuidadosamente en bolsa de polietileno con su identificación correspondiente: fecha, número de muestra, profundidad, cultivo, localidad; para luego

ser llevadas al Herbario CSAT del Campus Tabasco, en donde fueron separadas las raíces del suelo, considerándose diámetros de raíces; finas, aquellas de diámetro inferior a tres mm, (Cuanalo, 1990). Se lavaron a mano por el método de Böhm (1979), fueron medidas y posteriormente secadas en estufa a 70 °C hasta peso constante y pesadas, con una balanza de precisión ( $\pm 0.0001$  g). Se realizó el mismo diseño estadístico mencionado en el apartado anterior.

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.3.1. Caracterización de la unidad de suelo

El suelo en estudio, corresponde a un Vertisol Stagnico VRst (Éútrico) (Figura 3.4) que es uno de los suelos predominantes en la zona cañera, presenta un horizonte vértico, es arcilloso con evidencia de expansión y contracción, agregados en forma de cuña y superficies brillantes en las caras de los agregados, muestra grietas en la época seca del año, que se abren y se cierran periódicamente la mayor parte del año tienen un cm de ancho hasta 50 cm de profundidad.

Este suelo por sus características y consideraciones que se requieren para alcanzar su máxima productividad, se clasifican de acuerdo a su capacidad de uso como III/D4D3D1 (IMTA, 1989), son suelos aptos para los cultivos de caña de azúcar, cacao, plátano y arroz, su principal limitación es la permeabilidad interna que impide el flujo adecuado del agua en el perfil del suelo; adicionalmente presentan manto freático cercano a la superficie, estos suelos requieren, manejos del drenaje en los periodos de lluvias y suministro del riego en época de sequia (Palma *et al.*, 2007). Se localiza en la planicie aluvial baja o anegable con relieve convexo-cóncavo, con pendientes que no exceden el 2 %. La textura que se aprecia en todo el perfil es arcillosa, es un suelo con el perfil moderadamente desarrollado. Esta subunidad en época húmeda (lluvias) presenta bajo índice de infiltración, problemas de labranza debidos a la plasticidad de la arcilla, en época seca se observan agrietamientos porque el suelo se torna excesivamente duro, lo que dificulta su labranza (IUSS-WRB, 2007).

El comportamiento vertical de las propiedades químicas del perfil de suelo, muestran que: el nitrógeno va de medio (0-21 cm) a bajo (21-38 cm) y muy bajo (38-180 cm); el fósforo varía de bajo a medio, el potasio se mantiene bajo disminuyendo ligeramente conforme aumenta la profundidad; los valores de pH varían ligeramente pero manteniéndose en moderadamente ácido; la materia orgánica es baja y disminuye a muy baja a los 61 a 180 cm del perfil. Los contenidos de arcilla, la humedad retenida, la baja infiltración y la poca pendiente superficial representan problemas en la labranza y pueden serlo para el crecimiento de biomasa radical (Mendoza *et al.*, 2008; Salgado, 2009).

Figura 3.4. Descripción del perfil edáfico en el agroecosistema caña de azúcar

Localización: N 17°59'10.90", O 93°35'29.64",  
 Pendiente: -2%,  
 Manto freático: 180 cm  
 Drenaje del perfil: pobremente drenado,  
 Relieve: convexo-cóncavo

Material parental: cuaternario reciente,  
 Flora: arvenses de cama,  
 Aplicación de: fertilizante químico,  
 Prácticas de manejo con maquinaria.

Perfil	Ho	Descripción.													
	0-21	Color de la matriz del suelo 10 YR 4/2 café grisáceo oscuro. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura: ligeramente pegajosa. Estructura moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular y prismática muy fina. Cutanes: elevación discontinuos, delgados, verticales. Poros: pocos discontinuos caóticos vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: pocas, finas y delgadas. Fauna: hormiga túneles de lombriz. pH: 3.													
	21-38	Color de la matriz del suelo: 10YR 4/2 café grisáceo oscuro. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura, ligeramente pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, de forma poliédrica angular y prismática, muy fina. Cutanes por planchado, por presión, discontinuos, delgados verticales. Poros: pocos, discontinuos, caóticos, vesicular. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: pocas, finas delgadas. Fauna: túnel de lombriz. pH: 3.													
	38-60	Color de la matriz de suelo: 10YR 4/1 gris oscuro. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura: ligeramente pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, media. Cutanes: por planchado, continuos, moderadamente espeso Poros: pocos, discontinuos, caóticos y vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: rara, finas, delgadas. pH: 3.													
	60-102	Color de la matriz de suelo: 2.5Y 5/1 gris. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: dura a muy dura: pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, fina y media. Cutanes: planchado por presión continua moderadamente espeso vertical. Poro frecuente discontinuos caóticos vesicular. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: rara delgadas. pH: 4.													
	102-155	Color de la matriz de suelo: 2.5Y 5/1 gris. Transición: tenue. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: ligeramente dura a muy dura: pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, de tamaño fino y medio. Cutanes: planchado continuo espeso vertical. Poros frecuentes, discontinuos, caóticos, vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: raras, finas y delgadas. pH: 5.													
	155-188	Color de la matriz de suelo: 2.5Y 5/1 gris. Húmedo. Color del moteado: 5YR 6/8 amarillo rojizo. Textura: arcillosa. Consistencia en húmedo: ligeramente dura a muy dura: pegajosa. Estructura: moderadamente desarrollada, fina y media. Cutanes: planchado, discontinuos, delgados horizontales. Poros: frecuente discontinuos, caóticos, vesiculares. Permeabilidad: muy lenta. Raíces: muy raras, delgadas. pH: 6.													
<b>Prof.</b>	<b>%</b>														
	N	C0	MO	R (arcilla)	L (limo)	A (arena)	textural	CIC	Na	K	Ca	Mg	P	pH	COS
<b>0-21</b>	0.11	0.89	1.53	34	29	37	Franco arcillos	17.9	0.33	0.30	14.82	7.43	4.22	5.19	0.266

<b>21-38</b>	0.08	0.70	1.20	38	29	33	Franco arcillos	18.4	0.42	0.22	16.06	8.57	9.57	5.11	0.153
<b>38-61</b>	0.04	0.62	1.07	48	23	29	arcilla	24.0	0.50	0.24	18.86	11.07	1.97	5.47	0.076
<b>61-101</b>	0.04	0.35	0.60	46	25	29	arcilla	24.0	0.51	0.22	17.14	11.16	3.24	5.72	0.040
<b>101-155</b>	0.04	0.27	0.47	42	33	25	arcilla	25.7	0.46	0.25	18.00	13.13	6.19	5.69	0.038
<b>155-180</b>	0.06	0.23	0.40	42	33	25	arcilla	24.0	0.48	0.24	17.92	12.80	5.91	5.81	0.039

### 3.2.2. Diagnóstico nutrimental del suelo

En el Cuadro 3.3 se presentan los resultados de los análisis químicos realizados a las muestras tomadas con barrena en las profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm. Los resultados del estudio realizado al Vertisol Estágnico (VRst) (Éútrico), muestran contenidos de nutrientes que van de medios a muy bajos.

Las propiedades químicas no varían mucho en las dos profundidades (0-30 cm y 30-50 cm), la materia orgánica presenta contenidos bajos en ambas profundidades. Plan (1995) menciona que los procesos de degradación se ven beneficiados a lo largo de los años debido a la quema que se da en la caña al inicio de la zafra y a los residuos en la post-zafra. Este es uno de los motivos por el cual la materia se mantiene en niveles bajos en los suelos cañeros.

El fósforo (Cuadro 3.3) presentó contenido alto en la primera profundidad, disminuyendo hacia los 30-50 cm, este comportamiento está relacionado con el historial de fertilización y es un indicador de la acumulación continua de este elemento. A este respecto, es importante considerar que para los rendimientos obtenidos se podrían realizar ajustes de P en las dosis de fertilización (Mengel y Kirkby, 2000) los resultados encontrados en este estudio coinciden con los encontrados por otros autores en diferentes zonas cañeras del País (Salgado *et al.*, 2009).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valores medios (Cuadro 3.3); es importante recalcar que esta es una medida importante para la fertilidad química y la productividad de los suelos, las bases de intercambio se encuentran condicionadas por mencionado parámetro (Otero *et al.*, 1998; Mora *et al.*, 1999;). La textura del suelo es franco arcillosa (cuadro 3.4), lo que permite una buena capacidad de retención de agua, considerando las condiciones ambientales que se presentan durante el año en la zona de estudio, es importante considerar el uso de drenes parcelarios, sobre todo porque en la época húmeda hay precipitaciones de alta intensidad, en periodos de tiempo muy cortos (Obrador, 2009). A pesar de que la caña de azúcar tolera suelos ácidos (pero no  $\text{pH} < 5.5$ ), su mejor crecimiento y desarrollo se manifiesta a valores de pH en el intervalo de 6.5 a 7.0. El manejo irracional que se le da a la caña (quemadas y requemadas) disminuye el pH,

pero además conlleva a serias deficiencias de Ca y Mg, razón por la que aplicaciones de cal dolomítica han sido recomendadas (Salgado *et al.*, 2009).

El potasio (K) y magnesio (Mg) en las dos profundidades se clasifica como muy bajo (Cuadro 3.3), el K es el nutrimento que la caña de azúcar necesita en mayor cantidad, debido a que interviene en los procesos de síntesis de azúcar y almidón, transporte de azúcares, síntesis de proteínas y estimulación enzimática (Mengel y Kirkby, 2000). Salgado *et al.*, (2010) muestra resultados similares a los obtenidos en este estudio, en este mismo tipo de suelo, indicando la necesidad de ensayar la participación de mencionado elemento en la calidad de los jugos (contenidos de sacarosa).

El suelo en estudio presentó bajos contenidos de Calcio (Ca) (Cuadro 3.3), lo que se puede solucionar con el uso de cal dolomítica en bajas cantidades (Mesa y Naranjo, 1984), es importante señalar que los valores encontrados contrastan con los encontrados por Mora *et al.* (1999), quienes reportaron suelos con altos contenidos de Ca e indican la participación antagónica de este nutrimento en las relaciones de Ca:P, Ca:K, Ca:Mg.

El Nitrógeno total (Cuadro 3.3) en las dos profundidades (0-30 cm y 30-50 cm) presentó contenidos que se clasifican como bajos. Con un manejo adecuado de los residuos de la caña de azúcar, en el suelo ocurren procesos de mineralización y liberación de N inorgánico, que si bien no son suficientes para abastecer la demanda de  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  del cultivo si contribuyen de forma importante en el suministro de N. Pérez *et al.* (2010) mencionan que la materia orgánica (MO) es el factor que más explica la respuesta a las aplicaciones de nitrógeno; para suelos con contenidos bajos de MO (<3.0 %) se ha encontrado que el suelo requiere 1.14 kg de Nitrógeno por cada t de Caña producida, sin embargo cuando tenemos suelos con contenidos medios o altos de MO la relación del Nitrógeno por t de Caña es menor (1.0), esto nos afirma que la materia orgánica es importante para la sustentabilidad ambiental, económica y social.

Cuadro 3.3. Propiedades químicas de un Vertisol Estágnico (VRst) (Éutrico), a dos profundidades de 0-30 cm y 30-50 cm, tomadas con barrena tipo Holandesa

Nutriente.		Profundidad* 1	Clase**	Profundidad* 2	Clase**
Materia Orgánica	(%)	1.33	B	1.18	B
Carbono Orgánico	(abs)	0.188		0.233	
Fosforo	(mgkg <sup>-1</sup> )	14.59	A	5.43	B
Capacidad de intercambio catiónico	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	17.3	M	17.03	M
Potasio	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.08	MB	0.08	MB
Calcio	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	3.53	B	3.25	B
Magnesio	(cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0	MB	0	MB
Nitrógeno total	(%) Nt.	0.1	B	0.08	MB
pH		5.7	Ma	5.6	Ma

profundidad\* 1= es de 0-30cm y 2= es de 30-50cm

Clase\*\* A= alto; M= media; B= bajo; MB= muy bajo; Ma= moderadamente ácidos.

(NOM-021-RECNAT-2000)

Cuadro 3.4: Textura de un Vertisol Estágnico (VRst) (Éutrico), a dos profundidades tomadas con barrena tipo Holandesa

Profundidad	R*	L*	A*	Clase textural
	Arcilla	Limo	Arena	
0-30 cm	37	29	35	Franco arcilloso
30-50 cm	37	29	35	Franco arcilloso

\*= unidad en porcentaje (%).

### 3.2.3. Indicadores químicos y biológicos para la evaluar el agroecosistema de caña de azúcar

#### 3.2.3.1. Nitrógeno (N)

El Nitrógeno presentó valores más altos en los primeros horizontes para las dos épocas en estudio (Figura 3.5), de hecho, los niveles de N, se ven influenciados por la presencia de materia orgánica, la cual es aportada en mayor cantidad en la superficie del suelo (Espinoza, 2010). Lo que llama poderosamente la atención es que no hubo diferencias entre épocas y profundidades similares ( $p > 0.05$ ), dado que la mayor velocidad de descomposición la M.O y aporte de nutrimentos en zonas tropicales se relaciona generalmente, con el incremento de la precipitación (Burke *et al.*, 1989; Sánchez *et al.*, 2011).

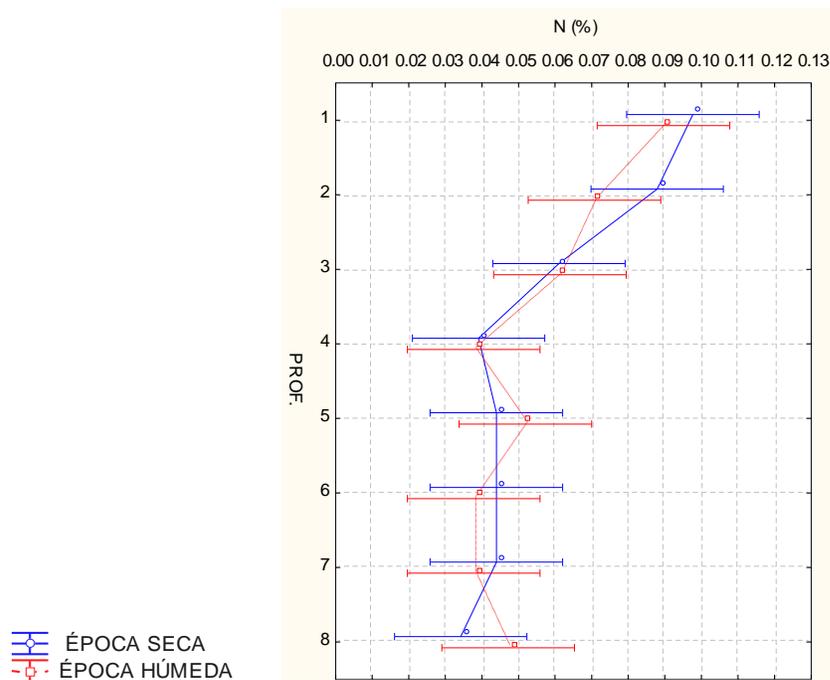


Figura 3.5. Comportamiento de los contenidos de Nitrógeno en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal:  $F(7,48) = 5.5520$ ,  $p = 0.78808$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

### 3.2.3.2. Carbono orgánico (CO)

El Carbono orgánico presentó valores más altos en los primeros horizontes para las dos épocas en estudio (Figura 3.6). Pero ambas presentan valores de carbono orgánico estadísticamente iguales ( $p>0.05$ ) si se comparan las mismas profundidades, lo que muestra una estabilidad horizontal en las diferentes épocas. Sin embargo la primera profundidad en la época seca y húmeda presenta diferencias estadísticas ( $p<0.05$ ) con las otras profundidades (a excepción de la segunda).

Por estar muy relacionados la M.O y el CO, no es extraño que sigan un comportamiento similar. Se observan tendencias que muestran valores más altos en la época húmeda en comparación de la época seca, donde se esperaría menos actividad de la biota del suelo pero también menos extracción de nutrimentos de la caña de azúcar por falta de agua. Los valores de CO encontrados (0.9 y 0.8 %) en este estudio en las dos primeras profundidades, son menores a los reportados por Sánchez *et al.* (2011) para suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico Mexicano, el CO varió entre 2.85 y 7.01% en el primer horizonte. Es importante considerar como prioritario para el cultivo de caña de azúcar el incremento de la M.O del suelo; las pérdidas de la materia orgánica redundan en un descenso de la actividad biológica, un deterioro de las propiedades físicas y un bajo suministro de nutrimentos y, a largo plazo en una disminución de la productividad. La inclusión de prácticas de conservación e incorporación de residuos son particularmente importante en cultivos altamente demandantes de nutrimentos (Sánchez *et al.*, 2011).

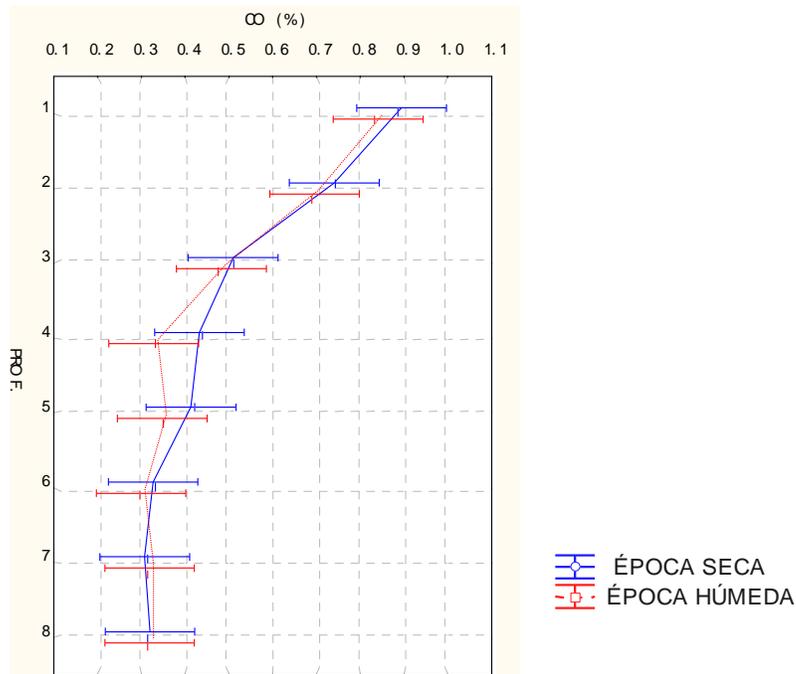


Figura 3.6. Comportamiento de los contenidos de carbono orgánico en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal:  $F(7,48)=.26026$ ,  $p=.96620$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

### 3.2.3.3 Fósforo (P)

El fósforo (P), presentó valores más altos en los primeros horizontes para las dos épocas en estudio (Figura 3.7). Las dos épocas presentan valores estadísticamente iguales ( $p>0.05$ ) si se comparan las mismas profundidades de cada una de ellas, con la salvedad que en la época seca la segunda profundidad fue estadísticamente diferente a la segunda, de la época húmeda. El P es un elemento poco móvil por lo que encontrarlo en concentraciones más altas en la parte superior del suelo no es extraño, como tampoco lo es, encontrarlo en valores medios y altos en suelos agrícolas (Mengel y Kirkby, 2000; Salgado *et al.*, 2009).

Los altos contenidos de P encontrados en el presente estudio para la primera profundidad, coinciden con los reportados por Salgado *et al.*, en diversos estudios (2003; 2005; 2010), el historial de aplicaciones constantes de  $P_2O_5$  ( $60 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) han propiciado que en suelos cañeros se encuentren valores de P-Olsen en el orden de valores medios y

altos; el ajuste de las normas de fertilización tendrán que realizarse en consideración de los rendimientos esperados, los cuales deberían estar en orden de las 80  $\text{tha}^{-1}$  de tallos molederos (Bastidas y Segovia, 1989, Obrador, 2009).

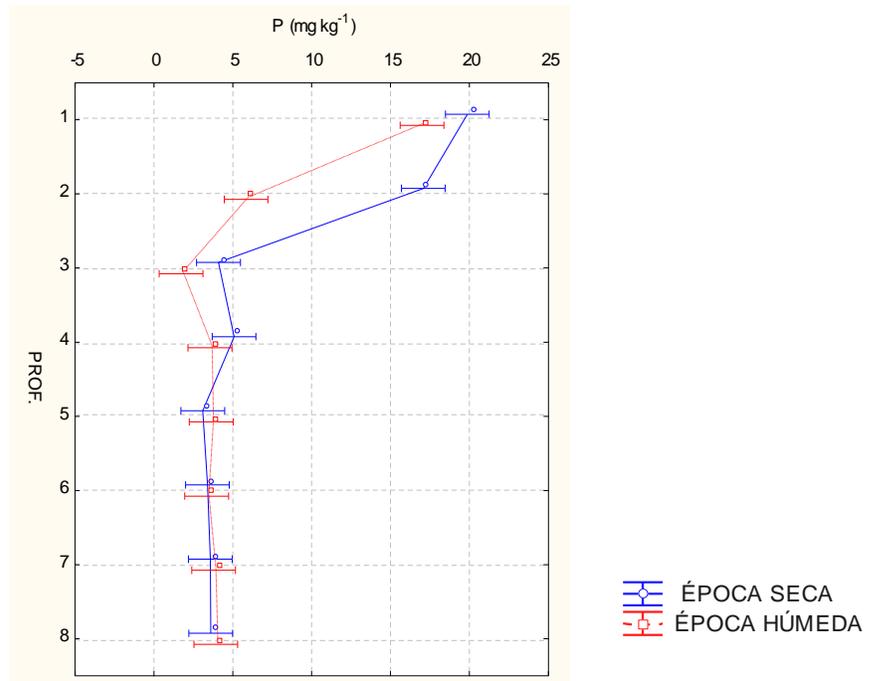


Figura 3.7. Comportamiento de los contenidos del Fosforo, en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal: F (7,48)=16.042,  $p=0.00000$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

### 3.2.3.4. pH

El pH presentó valores más bajos en los primeros horizontes para las dos épocas en estudio (Figura 3.8). En la época seca, no se encontró diferencia estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) para las dos primeras profundidades, pero cabe mencionar que si se presentó diferencia estadística ( $p < 0.01$ ) con el resto de las profundidades de esa misma época. Para la época húmeda los valores del pH de la primera profundidad difieren ( $p < 0.01$ ) de las demás, a partir de la segunda profundidad no se encontraron diferencias estadísticas con el resto.

Para ambas épocas, no se encontraron diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) entre sus mismas profundidades, es decir el pH se comporta de manera similar en los dos casos, aumentando de 5-6.5 en un gradiente inverso (conforme se incrementa la profundidad). La ligera disminución de los valores del pH en época húmeda se atribuye a que se está suscitando una lixiviación del  $\text{OH}^-$ , calcio, magnesio y potasio por causa de infiltración del agua de lluvia (Zérega, 1994 y INPOFOS, 1997). También es probable que la aplicación de fertilizantes nitrogenados favorezca la acidez, ya que el producto final de la urea y el amonio ( $\text{NH}^{+4}$ ) es de reacción ácida, lo que estaría provocando esa moderada acidez en el suelo cañero de la parcela en estudio (Zérega, 1994).

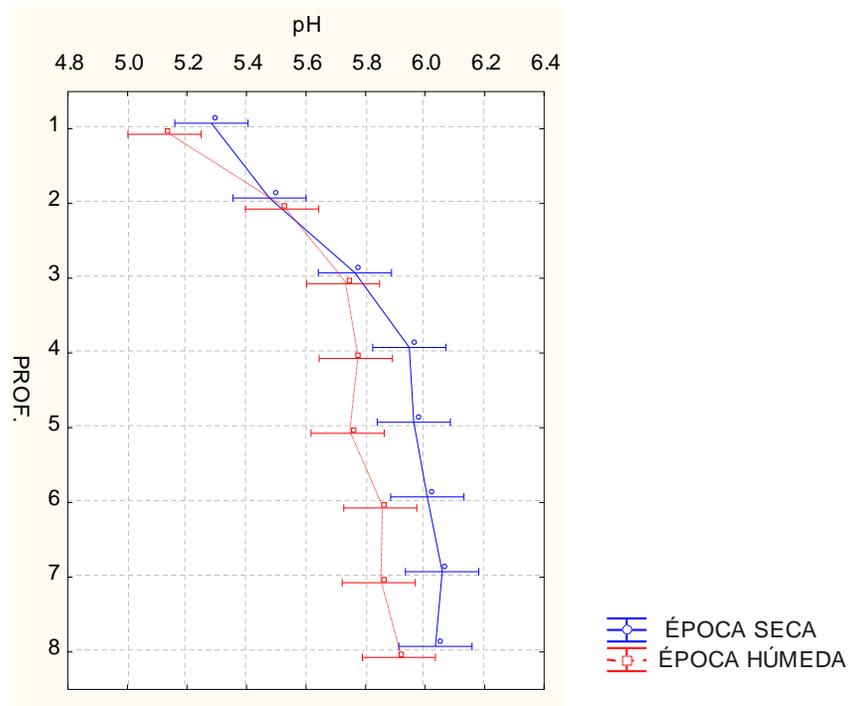


Figura 3.8. Comportamiento del pH en el agroecosistema caña de azúcar en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal:  $F(7,48)=1.0935$ ,  $p=.38239$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

### 3.2.3.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En la Figura 3.9 se observa que la capacidad de intercambio catiónico aumentó conforme se incremento la profundidad, siendo la época húmeda la que tendió a presentar menor contenido de CIC, siendo evidente estadísticamente en su primera profundidad ( $p < 0.05$ ), según estudios de Otero *et al.* (1998) la fracción mineral es un adsorbente del suelo y la CIC tiende a aumentar con la profundidad. Al igual que las arcillas, la CIC se mantiene en un nivel medio, y, por consiguiente, se trata de un suelo que presenta un nivel importante de retención de bases (Salgado *et al.*, 2009), el incremento de la CIC en este tipo de suelos es factible siempre y cuando se realice un adecuado manejo de los residuos de la caña, en aras de favorecer los contenidos de MO (material con alta cantidad de cargas), ambos parámetros tienen una fuerte dependencia, pero además la MO contiene elementos esenciales para la planta, que conforme se mineraliza se hacen disponible para la planta (Otero, 1998; INPOFOS, 1997).

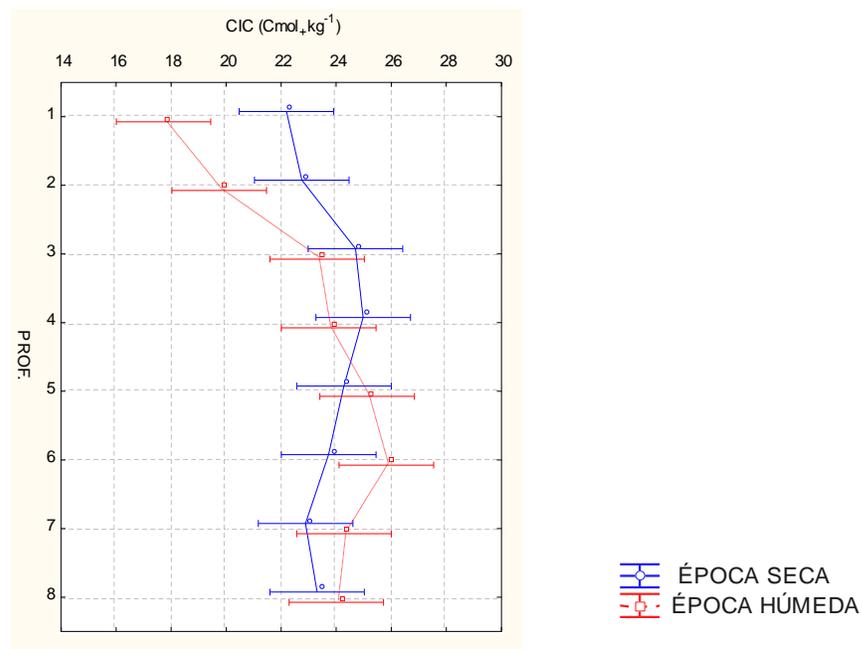


Figura 3.9. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), efecto principal:  $F(7,48)=3.5962$ ,  $p=.00343$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

### 3.2.3.6. Bases intercambiables

En la época húmeda se observa que los valores de los contenidos de las bases intercambiables (K de 0.29-0.25 cmol (+)kg<sup>-1</sup>, Na de 0.4-0.6 cmol (+)kg<sup>-1</sup>, Ca 12-18 cmol (+)kg<sup>-1</sup> y Mg 10-12 cmol (+)kg<sup>-1</sup>) son más altos comparados con los de la época seca (K de 0.10-0.05 cmol (+)kg<sup>-1</sup>, Na de 0.2-0.1 cmol (+)kg<sup>-1</sup>, Ca 3-4 cmol (+)kg<sup>-1</sup> y Mg 0 cmol (+)kg<sup>-1</sup>) (Figura 3.10).

El potasio (K), por ejemplo, presenta valores muy altos en época húmeda en comparación con la seca. Es decir, las dos épocas son diferentes estadísticamente ( $p < 0.05$ ) en todas las profundidades. La primera profundidad de la época húmeda es diferente de las demás (misma época), a partir de la segunda profundidad no se encontró diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) con las otras profundidades. En la época seca no hubo diferencia ( $p > 0.05$ ) en todas las profundidades. Los niveles de K varían de muy bajos a bajos en la época húmeda y son muy bajos en la seca. Los contenidos de K presentados en la Figura 3.10(a), no son suficientes para satisfacer la demanda de este mineral en el cultivo de caña, por lo que se debe dar importancia a la dosis de fertilización (Mora *et al.*, 1999 y Salgado *et al.*, 2009).

El sodio (Na) en la época seca no mostró diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) entre sus profundidades, ni con las tres primeras profundidades de la época húmeda, que a su vez son iguales ( $p > 0.05$ ) entre todas las demás de la misma época (húmeda), para las dos épocas se observa que, a partir de la cuarta y hasta la última profundidad, se encontró diferencia ( $p < 0.01$ ) entre ellas. El contenido de sodio varía de 0.05-0.5 cmol (+)kg<sup>-1</sup> (Figura 3.10 (b)), valores que se considera no provocan problemas de salinidad (Salgado *et al.*, 2008 y Salgado *et al.*, 2009).

El Calcio (Ca) presentó contenidos altos en la época húmeda y bajos y medio en la seca. La época húmeda es estadísticamente diferente ( $p < 0.01$ ) de la época seca, en todas las profundidades, sin embargo, entre sus profundidades cada época no mostró diferencia estadística ( $p > 0.05$ ). En cuanto al Magnesio (Mg), solo en la época húmeda se observó presencia de este mineral, en la época seca la concentración se mantuvo en 0. El contenido de este mineral encontrado en las distintas profundidades en la época húmeda

resultó ser similar ( $p > 0.05$ ). Las concentraciones de Ca y Mg en la época húmeda se clasifican como altas, estando en un rango de 12-16  $\text{cmol } (+)\text{kg}^{-1}$ , y 9-13  $\text{cmol } (+)\text{kg}^{-1}$ , respectivamente (NOM-021-RECNAT-2000), valores que satisfacen las necesidades del cultivo de caña de azúcar, sin embargo, se debe dar total importancia a estos valores altos de Ca y Mg, porque pueden repercutir en el balance nutricional del cultivo si no se le aplica una alta cantidad de potasio (Salgado *et al.*, 2009).

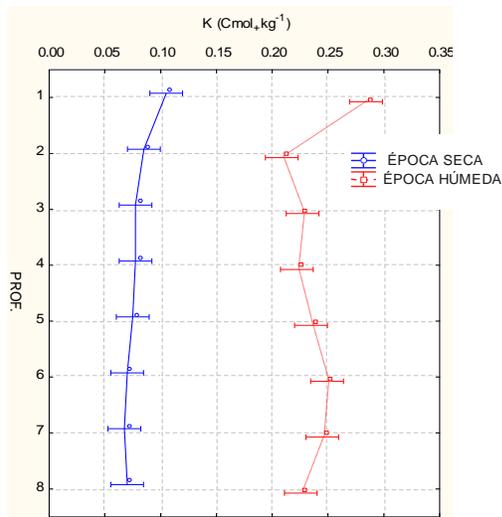


Figura 3.10(a). Efecto principal para potasio (K):  $F(7,48)=3.6269$ ,  $p=.00324$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

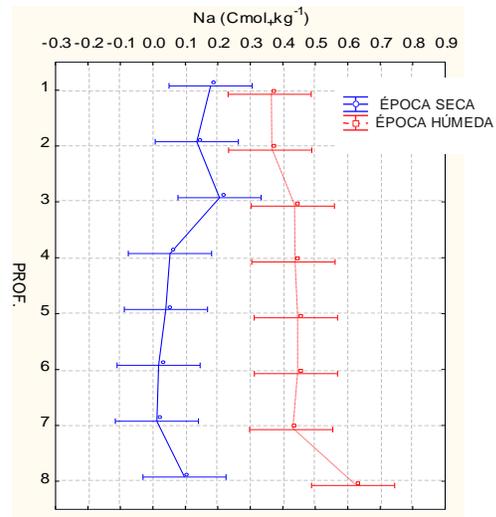


Figura 3.10(b). Efecto principal para sodio (Na):  $F(7,48)=1.7631$ ,  $p=.11689$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

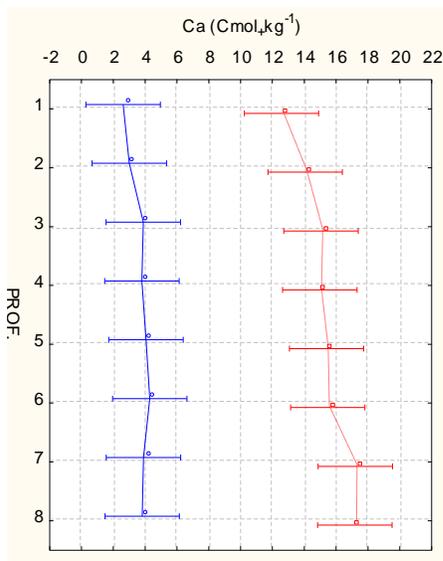


Figura 3.10(c).Efecto principal para calcio (Ca):  $F(7,48)=.50954$ ,  $p=.82280$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

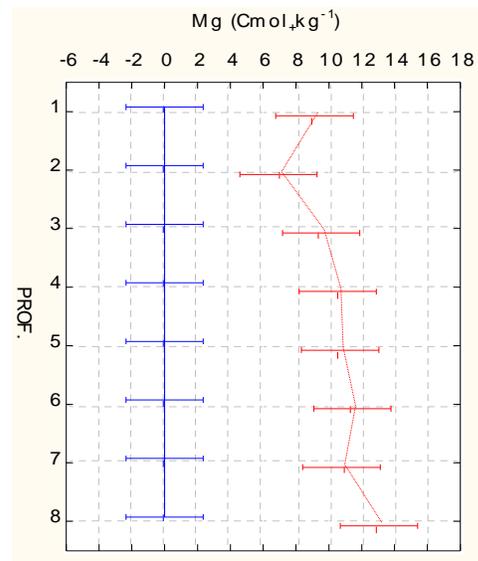


Figura 3.10(d). Efecto principal para magnesio (Mg):  $F(7,48)=1.1782$ ,  $p=.33293$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

Figura 3.10. Comportamiento de los contenidos de las bases intercambiables, en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm)

### 3.2.3.7. Carbono orgánico soluble (COS)

El carbono orgánico soluble, presentó valores más altos en la primera profundidad en las dos épocas, sin embargo la época seca es la que sobresale con mayor contenido de COS. Entre las dos épocas no se encontraron diferencia estadística ( $p > 0.05$ ) (Figura 3.11), las dos se comportaron de la misma manera, conforme aumenta la profundidad, disminuye el contenido COS, esto debido a la disminución de la materia orgánica, tal como se explicaba con la figura 9. En la época húmeda la primera profundidad es igual ( $p > 0.05$ ) con la primera de la época seca, pero es diferente ( $p < 0.01$ ) de las demás, desde la segunda hasta la última profundidad de ambas épocas, de igual forma sucede con la época seca. El COS es uno de los parámetros más confiables para estimar la mineralización de la materia orgánica del suelo, aunque es un porcentaje muy bajo de ella y es muy dinámico, permite hacer inferencias relacionadas con la disponibilidad de otros elementos nutrientes (Larson y Narain, 2001)

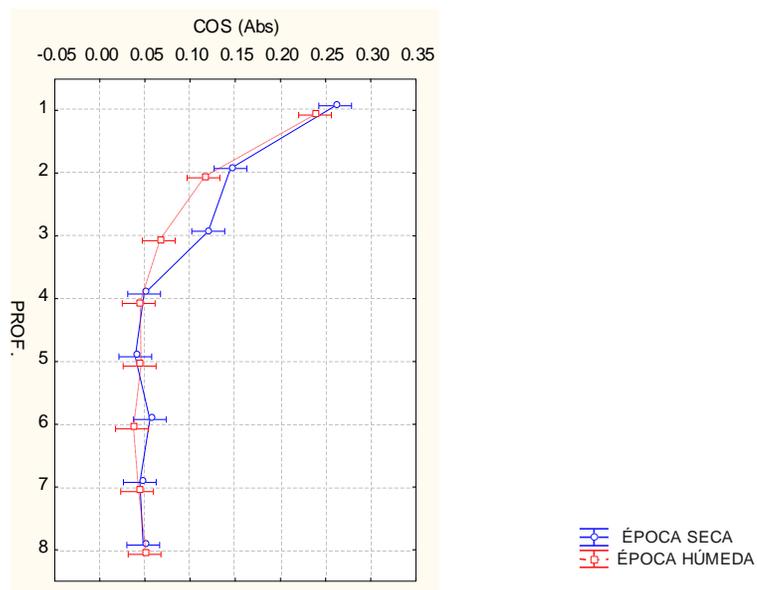


Figura 3.11. Comportamiento del carbono orgánico soluble en época seca y húmeda en ocho profundidades (0-160 cm), Efecto principal para arena (A):  $F(7,48)=2.4158$ ,  $p=.03339$ . Las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95)

En el cuadro 3.5 se muestra la matriz de correlación entre los diferentes parámetros químicos estudiados, se observa que varias de las variables se correlacionan, muy bien entre sí, los componentes más relacionados con la MO, COS Y N, presentaron valores de  $r^2$  bastante aceptables, pero además se observan con parámetros como fósforo y pH. También las bases de intercambio Ca, Mg y K mostraron correlaciones altas entre sí. Comportamiento parecido para estas variables (MO, COS, N, Ca, Mg Y K) han sido reportado por otros autores (Rodríguez, 1982; Pérez, 2010) asumiendo que se debe a que presentan en el suelo dinámicas parecidas o afinidad química (por aniones) en el caso de las bases o bien por ser componentes importantes del complejo orgánico de la MO.

Cuadro 3.5. Matriz de correlación entre los diferentes parámetros químicos estudiados en el agroecosistema caña de azúcar

	PROF.	N (%)	M.O (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	pH	CIC (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	K (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	Ca (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	Mg (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	COS (Abs)
N (%)	-0.660									
M.O (%)	-0.807	0.748								
P (mg kg <sup>-1</sup> )	-0.667	0.701	0.792							
pH	0.788	-0.702	-0.838	-0.780						
CIC (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0.444	-0.389	-0.602	-0.472	0.520					
K (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	-0.084	0.065	0.022	-0.024	-0.353	-0.164				
Ca (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0.140	-0.066	-0.196	-0.271	-0.067	-0.014	0.895			
Mg (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	0.127	-0.073	-0.187	-0.205	-0.096	-0.012	0.880	0.938		
COS (Abs)	-0.763	0.723	0.888	0.877	-0.847	-0.580	0.028	-0.228	-0.185	

En la Figura 3.12 se muestra la diversidad de organismos encontrados en el suelo cañero, el número total de monolitos analizados en para esta actividad fue de 64 en 8 perfiles durante un año en la época seca y húmeda (Cuadro 3.5), los individuos encontrados solo se observan en las dos primeras profundidades (0-20 y 20-40 cm) y el numero de organismos fue muy bajo. El haber encontrado pocos individuos indica que la riqueza de macrofauna del sitio es muy baja, que existe degradación en el suelo, la cual está muy relacionada con la pérdida de materia orgánica edáfica, consecuencia de las quemadas periódicas, el daño mecánico que implica la labranza intensiva y sobre todo con

la gran aplicación de biocidas (Elliot y Lynch 1994), aunque existe otros factores que pueden causar la disminución del número de organismos edáficos, como la estructura del suelo, pH, y la erosión hídrica del suelo, consecuencia de la pérdida de cobertura vegetal en este cultivo (Foth, 1979).

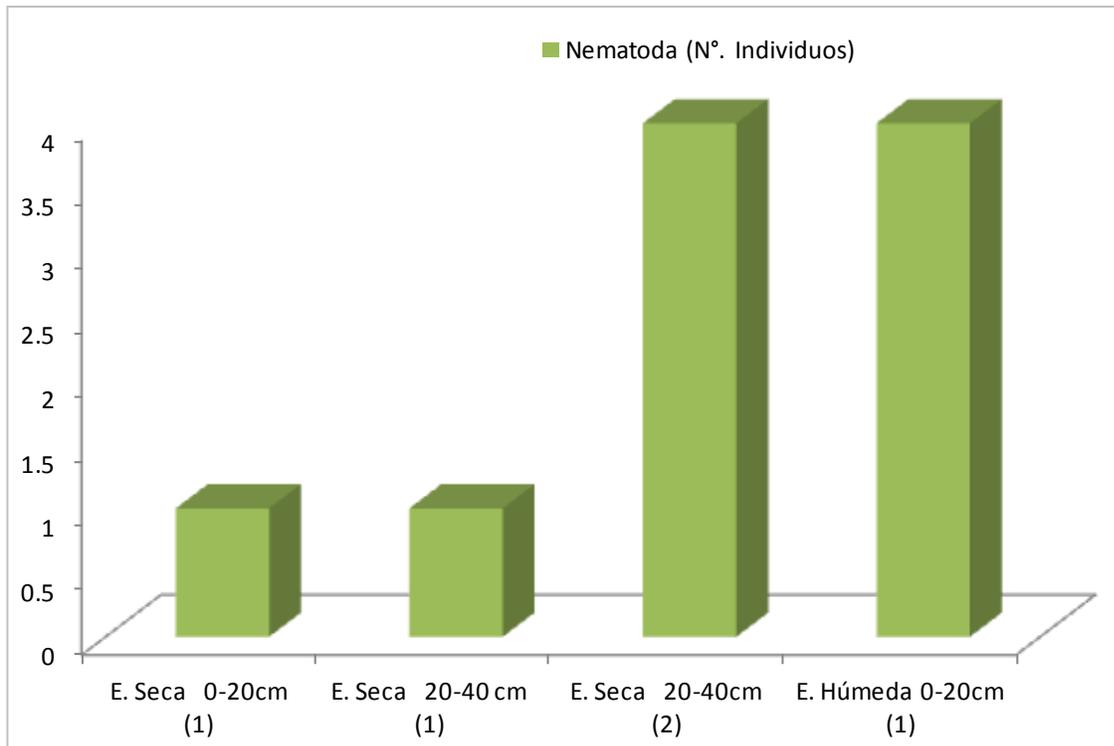


Figura 3.12. Comportamiento de la macrofauna (Clase) en el suelo, en las épocas seca y húmeda del agroecosistema de caña de azúcar

En figura 3.13, se muestra la densidad de longitud de raíces finas en el agroecosistema de caña de azúcar, en las tres primeras profundidades de las dos épocas hay diferencias estadísticas, a partir de la cuarta profundidad no hubo diferencias. En la época húmeda se observaron altas cantidades de raíces en las tres primeras profundidades, resultados coincidentes con los reportados por Bastidas (2011) en los que la mayor cantidad de raíces finas se distribuían en los estratos superiores. Algo que llama poderosamente la atención es la poca cantidad de raíces encontrada en la época seca, al parecer la época

de húmeda dispara un crecimiento importante de raíces necesarias para un crecimiento importante de toda la planta (Avilan, 1977).

Los porcentajes de raíces hasta un 1. 20 m fueron para la época húmeda y seca: (0-20 cm) 11.2%, (0-40 cm) 45.8%, (0-60 cm) 58.1%, (0-80 cm) 67.4%, (0-100 cm) 79.7% y (0-120 cm) 90.1%; y (0-20 cm) 2.5%, (0-40 cm) 13%, (0-60 cm) 22.7%, (0-80 cm) 30.1%, (0-100 cm) 60.7%, (0-120 cm) 81% y (0-140 cm) 90%, respectivamente. Es también importante recalcar que las raíces finas están explorando a profundidades muy altas, lo que contrasta con diferentes trabajos que indican que es mucho menor (Zérega, 2002) lo anterior puede estar asociado a la buena profundidad de los suelos además de su baja fertilidad. Estos resultados son importante, para posteriores toma de muestras para análisis de fertilidad, la profundidad de exploración de las raíces finas es un indicativo de la actividad de absorción de nutrimentos que tiene la planta (Luster *et al.*, 2009).

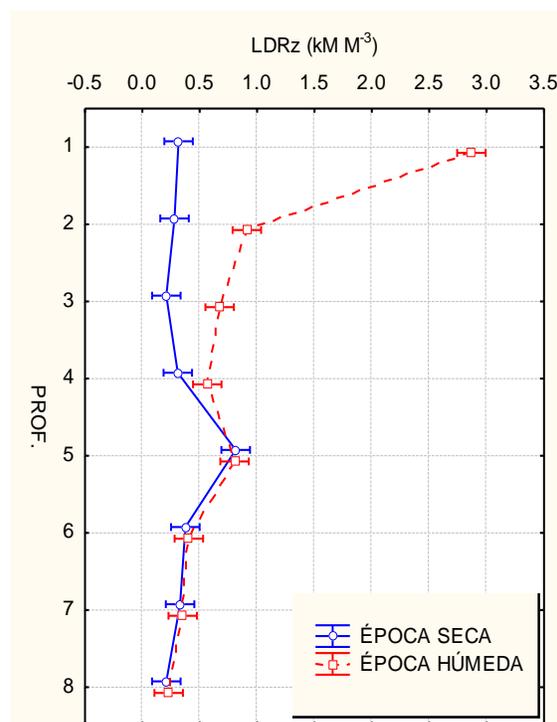


Figura 3.13. Densidad de longitud de raíces finas (< 3mm) en el agroecosistema de caña de azúcar, en ocho profundidades tomadas cada 20 cm (0-160cm), efecto principal F (7,48)=97.787, p=0.0000 las barras verticales indican intervalos de confianza (0.95).

### **3.4. CONCLUSIONES**

Los análisis químicos realizados a los suelos en estudio mostraron que: el N, CO y pH no presentaron diferencias estadísticas en los valores obtenidos, para una y otra época y las hubo claramente en K, Ca, y Mg, donde todas las profundidades de la época húmeda fueron diferentes estadísticamente (más altas) a las de la seca. El P y la CIC presentaron más altas concentraciones (estadísticamente) en la época seca y sólo para la segunda y primera profundidad, respectivamente.

Muy pocos organismos fueron encontrados si se compara con otros estudios, no se observaron diferencias estadísticas en su número en las dos épocas estudiadas. Es importante considerar un mejor manejo de la MO en el cultivo de caña de azúcar, diferentes parámetros relacionados con su presencia se encuentran con valores preocupantes.

La época húmeda, mostró mayor cantidad de raíces (estadísticamente) que la seca en las tres primeras profundidades, llama poderosamente la atención que en esta última época, la cantidad de raíces haya presentado homogeneidad estadística en casi todas sus profundidades. La densidad de longitud de raíces finas (<3 mm) indica que hay una exploración importante de la biomasa radical extractora de nutrientes (alrededor de 140 cm de profundidad), razón por la que en estudios posteriores en los que se quiera estimar el suministro del suelo, se debe tener muy en cuenta la profundidad de muestreo.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- Álvarez D. A. y Ignacio B. J. 2005. Estudio Del Ensamblaje De Coleóptero En Áreas Con Diferente Condiciones De Abandono En La Canter Soratama. Localidad De Usaquén, Bogotá D.C. Pontificia Universidad Javeriana Facultad De Ciencias. Bogotá. D.C. p. 29-30.
- Avilan L., Granados F. y Ortega D. 1977. Estudios del sistema radicular de las tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp*) en un molisol de los valles de Aragua. *Agronomía tropical*. 27(1): p. 69-87.
- Azevedo M., Chopart J. y de Contimedia C. 2011. Sugarcane root length density and distribución from root intersection counting on a trench-profile. *Sci. Agric*. 68 (1): p. 94-101.
- Baretta D., Gardner B. G. y Bran N. C. E. J. 2010. Potencial da macrofauna e outras variaveis edaficas como indicadores da qualidade do solo e mareas com araucaria angustifolia. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, México. *Acta Zoológica Mexicana* (nueva serie), C N° 2, p. 135-150.
- Bastidas G. L. R. y Segovia A. 1989. Respuesta de la caña de azúcar var. 'PR 980' a los fertilizantes N, P, K, en un molisol de la cuenca del lago de valencia. Venezuela. *Caña de azúcar*. 7 (1): p. 33-44.
- Bastidas L., Rea R., Rodríguez N. y Ventura J. 2011. Influencia del sistema radical sobre los indicadores de rendimiento en la caña de azúcar. *Multiciencia*. Universidad del Zulia punto fijo, Venezuela. 11 (1), p. 15-25.
- Bautista C. A., Etchevers B. J., del Castillo R. F. y Gutiérrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España. *Ecosistemas*. 13 (002). 11 p.
- Böhm W. 1979. Methods of studying root systems. *Ecological Studies*. Ed. Springer-verlag. Berlin. Germany. 33. 188 p.

- Brown G. G. y Fragoso C. 2003. El uso de la macrofauna edáfica en la agricultura del siglo XXI: problemas y perspectivas. *En: G. G. Brown, C. Fragoso y Oliveira (Eds.). O uso da macrofauna edáfica na agricultura do século XXI: a importância dos engenheiros do solo.* Embrapa Soja Serie Documentos. Londrina. N°224, p. 11-19.
- Brown G. G., Morenob A. G., Barois I., Fragoso C., Rojas P., Hernandez B. y Patrón J. C. 2004. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversión from native to introduced pastures. *Agricultura, Ecosystems and Environment* 103: p. 313-327.
- Burke I. C., Yonker C. M., Parton W. J., Cole C. V., Flach K. y 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: p. 800-805.
- Carrillo Á. E., Vera E. J., Alamilla M. J. C., Obrador O. J. J. y Aceves N. E. 2008. Como Aumentar el Rendimiento de la Caña de Azúcar en Campeche. Colegio de Postgraduados. 101 p.
- Cepeda D. J. M. 1991. Química de suelos. UAAAN. 2° edición. Ed. Trillas. México, ISBN: 968-24-4032-7. p. 43-64.
- 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. 98 p.
- Cuanalo de la C, H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40 p.
- Curry J. P. 1987. The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. III.effects on soil fertility and plant growth. *Grass And Forge Science.* 42: p. 325-341.
- Curry J. P. y Good J. A. 1992. Soil fauna degradation and restoration. *Advances In Soil Science.* 17: p. 171-215.

- Du Preez C. C., Steyn J. T. y Kotze E. 2001. Long-term effects of wheat residue management on some fertility indicators of a semi-arid plinthosol. *Soil Till. Res.* 63: p. 25-33.
- Elliot L. F. y Lynch J. M. 1994. Biodiversity and Soil Resilience. In: Greenland D. J., y Szabolcs, (Eds.) *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International. 20. P. 352-363.
- Espinoza Y. 2010. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro*, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto Cabudare, Venezuela. 22 (3). 12p.
- Etchevers B. J. D. y Volker H. V. 1991. Generación de tecnología mejorada para pequeños productores. Serie cuaderno de edafología 17. CEDAF- Colegio De Postgraduados. Montecillo, Edo. De México. 46 p.
- Foth H. D. 1979. *Fundamentals Of Soil Science*. 7th Ed. John Wiley y Sons, New York, USA. 435 p.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ta. Edic. Edit. Indianápolis. D. F. México. 246 p.
- Geissen V. y Morales G. G. 2005, Fertility Of Tropical Soils Under Different Land Use Systemsa Case Study Of Soils In Tabasco, México. *Applied Soil Ecology*, 31 (1-2), p. 169-178.
- IMTA. 1989. Manual de clasificación, cartográfica e interpretación de suelos con base en el sistema de taxonomía de suelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cuernavaca, Mor.
- INPOFOS, 1997. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Manual internacional de fertilidad de suelos. Ecuador. 50 p.

- IUSS-WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 130 p.
- 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. y de la Cruz P. A. 2011. Diagnostico de la Microrregión de Atención Prioritaria: Huimanguillo. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 73 p.
- 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. 129 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). 24 (1). p. 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.
- Laird R. J., Turrent A. F., Volke V. H. y Cortes J. I. F. 1993. Las investigaciones en productividad de agrosistemas. Cuaderno de entomología 18. Colegio de postgraduados. Montecillo, Méx. 42 p.
- Lang O. F. P., Pérez V. A., Martínez D. J. P., Platas R. D. E., Ojeda E. L. A. y Gonzales A. I. J. 2011. Macrofauna edáfica asociada a plantaciones de mango y caña de azúcar. Terra latinoamericana, Chapingo, México. 29 (2): p. 169-177.
- Larson L. O. y Narain P. 2001. La calidad de la tierra y otros indicadores de datos estadísticos de desarrollo sostenible, control de calidad y problemas de agregación. In: Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín 5 de Tierras y Aguas de la FAO. 207 p.
- Larson W. E. y Pierce F. J. 1991. Conservación and Enhancement of Soil Quality. En evaluación for sustainable land management in the developing world. IBSRAM

- Proc. 121 (2). Thailand Int. Board for soil Res. And Management, Bangkok. 2. p. 175-203.
- Lavelle P., Dangerfield M., Fragoso C., Eschenbrenner V., Lopez H. D., Pashanasi B. y Brussaard L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *En: Woomer, P. L. and M. J. Swift, (eds.) the biological management of tropical soil fertility*. TSBF. A Wiley-Sacey Publication. P. 137-169.
- Lavelle P., Decaêns T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P. y Mora J. P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. 42: p. 3-15.
- Linarez L. 2009. Evaluación del Sistema Radicular de Cinco Variedades de Caña e Azúcar (*Saccharum Spp.* Hibrido) en un Vertisol en el sector los perozos, Municipio Miranda, Estado Falcón. Trabajo especial de grado. Programa de Agronomía. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. 58 p.
- Luster J., Göttlein A., Nowack B. y Sarret G. 2009. Sampling, defining, characterising and modeling the rhizosphere—the soil science tool box. *Plant Soil*. 321: p. 457-482.
- MacDiken K. 1997. A guide to monitoring carbón storagebin forestry and agroforestry projects. Arlinton, VA, US, Winrock Internatinal. 87 p.
- Mendoza P. J. D., Rivera T. J., Estrada B. M. A, De La Cruz L. E., Brito M. N. P., Gómez V. A., López N. U. y Córdova A. V. 2008. Necesidades de aplicación del drenaje Agrícola en terrenos del campo cañero de Tabasco *En: memorias de la XX RCFA-Tabasco*. 22 y 23 de Abril de 2008. Villahermosa, Tabasco. P. 330-339.
- Mengel H. y Kirkby E. A. 2000. Principles Of Plant Nutrition. International Potash Institute. Worblaufe-BERN, Switzerland. 665 p.
- Mesa N. y Naranjo M. 1984. Manual interpretación de los suelos. Ministerio de agricultura. Dirección General de Suelos y Fertilizantes. Científico- Técnico del Ministerio de la Cultura. La Habana. Cuba 136 p.

- Mora O., Díaz A. y Zérega L. 1999. Fertilidad de los suelos cultivados con caña de azúcar (*Saccharum sp* Híbrido) del estado Yaracuy en base a los análisis de suelo. Caña de azúcar 17. P. 21-36.
- Moreno G., Obrador J. J., Cubera E. y Dupraz C. 2005. Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. Plant and Soil. 277: 153-162.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Norma Oficial Mexicana Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaria De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. 85 p.
- Obrador O. J. J. 2009. Labores culturales en el cultivo de caña de azúcar. En: Valdez B. A., Guerrero P. A., García L. E., Obrador O. J. J. 2009. Manual para el cultivo y producción de la caña de azúcar. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. México. P. 22-25.
- Otero L., Ortega S. F. y Morales. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio catiónico de Vertisoles de la provincia Granma. Terra latinoamericana. Chapingo, México. 16 (003): p. 189-194.
- Palma L. D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 199 p.
- Pérez O. 2007. Guía de recomendaciones de nitrógeno para el cultivo de caña de azúcar en la zona cañera de Guatemala. Centro de investigación y capacitación de la caña de azúcar CENGICAÑA, Guatemala. 10 p
- Pérez O., Ufer C., Azañón V. y Solares E. 2010. Estrategias para la optimización del uso de fertilizantes nitrogenado en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala. Centro de investigación y capacitación de la caña de azúcar CENGICAÑA, Guatemala. 5 p.
- Plan S. I. 1995. Labranza y propiedades físicas de los suelos. Efecto de los sistemas de labranza en la degradación y productividad de los suelos. Reunión bienal de la red

- latinoamericana de labranza conservacionista. FONAIAP-FOA- ISSS-UNELLEZ-RELACO. P. 26-41.
- Polonia J., Rodríguez L. y Mejías M. 2004. Método indirecto para medir masa radical en caña de azúcar, variedad CC8592. Acta agronómica. 53 (39): p. 51-54.
- Rodríguez S. F. 1982. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor, S. A. México, D. F. 157 p.
- Rodriguez R. 2004. Seculo XXI, O Novo Tempo Da Agroenergia Renovável. Visão Agrícola, Piracicaba, N°1, p. 4-7.
- Salgado G. S., Núñez E. R. y Bucio A. L. 2003. Determinación de la dosis optima económica de fertilización en caña de azúcar. Terra latinoamericana. 21 (2): p. 267-272
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Lagunes E. L. C., Ortiz G. F. y Ascencio R. J. M. 2005. Bases para generar un programa sustentable de fertilidad en un ingenio de Tabasco, Mexico. INTERCIENCIA, 30 (7): p. 395-403.
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Zavala C. J., Lagunes E. L. C., Castelán E. M., Carlos O., Guerrero P.A., Moreno C. E. y Rincón J. 2007. Lotificación del campo cañero: una aportación del sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes. Colegio de postgraduados. Campus Tabasco. 10 p.
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Zavala C. J., Lagunes E. L. C., Castelán E. M., Ortiz G. F., Juárez L. J. F., Rincón R. J. A. y Hernández N. E. 2008. Programa sustentable de fertilización para el Ingenio Pujiltic, Chiapas, México. Terra Latinoamericana. 26 (4): p. 361-373.
- Salgado G. S., Palma L. D. J., Zavala C. J., Lagunes E. L. C., Castelán E. M., Ortiz G. F., Juárez L. J. F., Ruiz R. O., Armida A. L. y Rincón R. J. A. 2009. Sistema Integrado Para Recomendar Dosis De Fertilizantes En Caña De Azúcar (SIRDF): Ingenio Presidente Benito Juárez. Colegio De Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 84 p.

- Salgado G. S., Palma L. D. J., Zavala C. J. Lagunes E. L. C., Castelán E. M., Ortiz G. C. F., Juárez L. J. F., Ruiz R. O., Armida A. L. y Rincón R. J. A. 2010. A sustainable fertilisation program for a sugar factory in Mexico: a principle for precision agriculture. *Proc. Int. Sugar. Cane. Technol.* 27. 8 p.
- Sa Mendonca E., Costa Da S. A., Lemos De 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*, Colegio De Postgraduados Texcoco, México. 35 (004): p. 397-406.
- Sánchez H. R., Ramos R. R., Geissen V., Mendoza P. J. D. De La Cruz L. E., Salcedo P. E. y Palma L. D. J. 2011. Contenidos de carbono en suelos con diferentes usos agropecuarios en el trópico mexicano. *Terra Latinoamericana*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 29 (2), P. 211-219.
- Schlegel B., Gayoso J. y Guerra J. 2000. Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal. 15 p.
- SIAP-SAGARPA. 2011. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 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](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=184). 07/11/11.
- Theng B. K. G., 1989. K. R. Tate y P. Sollins. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. *En: dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Coleman D. C., J. M. Oades and G. Uehara (eds.). Nifal Project. Manoa, Hawaii. P. 5-31.
- USDA. (Soil quality definitions United States). 199. <http://soils.usda.gov/sqi/concepts/concepts>. 12/02/11.
- Zérega M. L. 1994. Manejo de suelos y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar. Fundación azucarera para la investigación y la productividad Venezuela. Boletín N° 10. 23 p.

Zérega L., Rojas M., Hernández T., 2002. Caracterización y sugerencias de manejo de los recursos agroecológicos para la producción de caña de azúcar en la unión de prestatarios “la esperanza”, estado Yaracuy. INIA-Yaracuy. Instituto universitario tecnológico del Yaracuy, San Felipe, Venezuela. Caña de azúcar. 20 (1): P. 18-40.

## **CONCLUSIÓN GENERAL**

El sistema agroforestal cacao presentó en general, diferencias entre épocas, en la húmeda se encontraron, en la primera profundidad, mayores cantidades de materia orgánica y nitrógeno y menores de fósforo. El comportamiento de las bases de intercambio fue similar en las dos épocas (húmeda y seca). En relación a la macrofauna, se encontraron pocos organismos, siendo mayor la cantidad en la época húmeda. La densidad de longitud de raíces finas (<3 mm) mostró que la biomasa radical extractora de nutrimentos se distribuye alrededor de los 100 cm de profundidad.

El agroecosistema caña de azúcar presentó en general, contenidos más altos (estadísticamente) para potasio, calcio, magnesio, fósforo y CIC en la época seca. La macrofauna no mostró diferencia en las épocas estudiadas encontrándose muy pocos organismos. La densidad de longitud de raíces finas (<3 mm) indica que hay una exploración importante de la biomasa radical extractora de nutrimentos, alrededor de 140 cm de profundidad.