



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS

Campus Tabasco

PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN SEIS
AGROECOSISTEMAS DE LA SABANA DE
HUIMANGUILLO, TABASCO.**

ARNULFO MURILLO DE LA ROSA

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

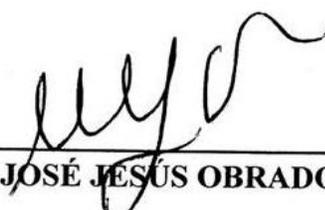
H. CÁRDENAS, TABASCO. DICIEMBRE 2010

La presente tesis titulada: **La materia orgánica del suelo en seis agroecosistemas de la sabana de Huimanguillo, Tabasco**, realizada por el alumno, Arnulfo Murillo de la Rosa, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCION AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

Consejo particular

CONSEJERO



DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR



DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR



DR. MEPIVOSETH CASTELÁN ESTRADA

ASESOR



DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

H. CÁRDENAS, TABASCO. 10 DE DICIEMBRE, 2010.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de vivir, por ayudarme a terminar este proyecto, por darme la fuerza, la voluntad, el coraje para seguir de frente y hacer este sueño realidad.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría, a través de la beca.

A la línea prioritaria de investigación número 2 por permitir a través de diversos apoyos que el trabajo de investigación fuera posible.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco por haberme brindado la oportunidad de realizar los estudios de maestría y formar parte de su comunidad.

Al laboratorio de Análisis Químicos de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) y el personal técnico que ahí labora (Don Esteban, Don Bernardo, Doña Martha, María y Emilgar), por las facilidades otorgada para la realización de este trabajo.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por su amistad, su apoyo moral y académico y la disposición de su tiempo, que hicieron posible la realización del presente trabajo.

Al Dr. Mepivoseth Castelán Estrada, por su valiosa aportación, por compartir su tiempo, sus conocimientos, experiencias y su confianza para la realización de este trabajo.

Al Dr. Armando Guerrero Peña, por su apoyo en laboratorio y revisiones al presente documento.

Al Dr. Eugenio Carrillo Ávila, por sus sugerencias en los análisis de los datos estadísticos y formar parte de mi consejo.

A todos mis maestros, mi más profundo agradecimiento por compartir sus conocimientos, sus enseñanzas y por todo el tiempo que con paciencia dedicaron en el aula.

A mis compañeros de generación (2008-2009), por compartir el tiempo y espacio en esta etapa de nuestra vida, les deseo lo mejor en su carrera profesional.

A todos aquellos que de una u otra manera aportaron su conocimiento para y habilidad para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mi esposa, Rosa Araceli y mi hijo Oswaldo por ser los pilares que me impulsan a seguir adelante, por su paciencia, y porque saben el gran amor que les tengo.

A mi Madre, la señora Elena de la Rosa López, por haberme permitido ver la luz y darme vida, por su apoyo, cariño y comprensión.

A mi suegra, Dulce María Pérez, por su confianza y paciencia.

A mis hermanos, Raúl, Daniel, José Ángel, Armando, Deyanira, Gustavo, Francisco, Angélica y Williams.

A mis cuñados, Cruz del Carmen, Lupita, Alfonso y Tatiana, por su amistad y confianza.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 HIPÓTESIS.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. DEFINICIÓN DE AGROECOSISTEMAS	3
3.2. LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	3
3.2.1. Importancia de la materia orgánica del suelo	5
3.2.2. Influencia de la materia orgánica en las propiedades del suelo	6
3.2.3. La materia orgánica en la sustentabilidad del suelo	7
3.2.4. El nitrógeno en el suelo	8
3.2.5. Relación carbono nitrógeno (C/N)	8
3.2.6. Carbono orgánico soluble (COS)	9
3.3. BIOMASA RADICAL	10
3.3.1. Densidad de longitud de raíces finas (DLR)	10
3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGROECOSISTEMAS EN ESTUDIO	12
3.4.1. Acahual.....	12
3.4.2. Acacia (<i>Acacia mangium</i> Willd.).....	12
3.4.3. Eucalipto (<i>Eucalyptus</i> ssp)	13
3.4.4. Hule (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell Arg)	14
3.4.5. Piña (<i>Ananas comusus</i> L.)	14
3.4.6. Pasto Humidícola (<i>Brachiaria humidicola</i>)	14
IV. LITERATURA CITADA.....	16

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SEIS AGROECOSISTEMAS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO MÉXICO.....24

RESUMEN24

ABSTRACT.....26

1.1 INTRODUCCIÓN27

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....29

1.2.1. Sitio de estudio..... 29

1.2.2. Geología 29

1.2.3. Clima..... 30

1.2.4. Unidades de estudio 30

1.2.5. Muestreo de suelo y preparación de las muestras..... 30

1.2.6. Determinación de la Densidad aparente..... 31

1.2.7. Determinación del carbono orgánico total (COT %)...... 32

1.2.8. Determinación del nitrógeno total (Nt %)...... 32

1.2.9. Relación carbono nitrógeno (C:N)...... 33

1.2.10. Determinación del carbono orgánico soluble (COS %)...... 33

1.2.11. Índice óptico (IO) 33

1.2.12. Análisis estadísticos..... 34

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN35

1.3.1. Densidad aparente (Dap g cm⁻³) 35

1.3.2. Contenido y distribución del carbono orgánico total (COT %) 39

1.3.3. Contenido y distribución del Nitrógeno total % (Nt) 43

1.3.4. Relación carbono nitrógeno (C/N)...... 47

1.3.5. Contenido y distribución del Carbono orgánico soluble (COS)...... 50

1.3.6. Índice óptico (IO) 53

1.4 CONCLUSIONES58

1.5 LITERATURA CITADA.....59

CAPITULO II. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE RAÍCES EN SEIS AGROECOSISTEMAS EN UN SUELO ACRISOL HÚMICO DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO.	65
RESUMEN	65
ABSTRACT.....	67
2.1 INTRODUCCIÓN.....	68
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	71
2.2.1. El sitio de estudio	71
2.2.2. Los agroecosistemas en estudio	71
2.2.3. Selección de las parcelas	73
2.2.4. Descripción y clasificación del suelo de una de las parcelas en estudio	75
2.2.5. Muestreo de raíces.....	77
2.2.6. Análisis estadístico.....	77
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	78
2.3.1. Comportamiento vertical de la DLR por agroecosistema	78
2.3.2. Comportamiento vertical de la DLR entre agroecosistema.....	80
2.4 CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES	83
2.5 LITERATURA CITADA.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química aproximada de organismos vegetales superiores e inferiores (Kononova, 1982).....	6
Cuadro 1.1. Muestreos de suelo realizados en seis agroecosistemas a diferentes profundidades, para caracterizar la MO en un suelo de sabana de Huimanguillo.....	31
Cuadro 1.2. Valores promedio de densidad aparente del suelo (g.cm^{-3}), en función de la profundidad, en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco..	36
Cuadro 1.3. Valores promedios de carbono orgánico total (COT; %) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	40
Cuadro 1.4. Valores promedios de nitrógeno total (Nt; %) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	44
Cuadro 1.5. Valores promedios de Relación C/N nitrógeno en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	48
Cuadro 1.6. Porcentaje de carbono orgánico soluble (COS) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	51
Cuadro 1.7. Índice óptico (IO) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	54
Cuadro 2.1. Especies vegetales de un acahual de 10 años ubicado en un suelo Acrisol húmico de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	74
Cuadro 2.2. Perfil de suelo.....	76
Cuadro 2.3. Valores promedio de densidad de longitud de raíces finas (km m^{-3}), por profundidad, en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	80
Cuadro 2.4. Valores promedios de densidad de longitud de raíces finas (DLR) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de la materia orgánica del suelo.....	4
Figura 1.1. Ubicación geográfica del sitio de estudio.....	29
Figura 1.2. Variación de la densidad aparente (Dap; g cm ⁻³).....	37
Figura 1.3. Distribución vertical de la densidad aparente de seis agroecosistemas en un suelo (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	38
Figura 1.4. Contenido y distribución del carbono orgánico total en seis diferentes agroecosistemas.....	41
Figura 1.5. Distribución vertical del carbono orgánico total (%) de seis agroecosistemas en un suelo (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	42
Figura 1.6. Contenido y distribución del carbono orgánico total en seis diferentes agroecosistemas.....	45
Figura 1.7. Distribución vertical del Nitrógeno total (Nt; %) de seis agroecosistemas.....	46
Figura 1.8. Relación carbono-nitrógeno en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	49
Figura 1.9. Distribución vertical de la relación (C/N) de seis agroecosistemas.....	50
Figura 1.10. Porcentaje COS en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	52
Figura 1.11. Distribución vertical del carbono orgánico soluble (COS %) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	53
Figura 1.12. Índice óptico de la materia orgánica del suelo en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	55
Figura 1.13. Índice óptico de la materia orgánica del suelo en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	57
Figura 2.1. Vegetación y uso del suelo en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México (Palma-López, et al., 2009).....	72
Figura 2.2. Comportamiento de la DLR a diferentes profundidades en los agroecosistemas en estudio.....	79
Figura 2.3. Distribución vertical de raíces delgadas (km.m ⁻³) de seis agroecosistemas en un suelo (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.....	82

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La materia orgánica del suelo (MO), que está compuesta de residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición (material primario original) y por microorganismos como bacterias y hongos, desempeña un papel determinante en la fertilidad edáfica. Es un componente dinámico que contribuye fuertemente a la estabilización de la estructura del suelo y tiene una influencia dominante en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, en un sistema de procesos tan intrincados que, numerosos autores no han dudado en calificarlo como el más complejo del mundo. La MO constituye solo una pequeña fracción de la mayoría de los suelos, no obstante, es el principal reservorio de nutrientes para las plantas (Biederbeck *et al.*, 1994; Forján, 2002; Corbella, 2003; Navarro y Navarro, 2003; Moral, 2004).

Las funciones agrícolas y ambientales del suelo (producción, economía, captura de carbono y calidad del aire) se ven directamente afectadas por la cantidad y la calidad de la materia orgánica que contiene, la cual es un indicador clave de su potencialidad agrícola, y estabilizadora de su estructura pues ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a fuerzas dinámicas como el humedecimiento y el impacto de las gotas de lluvia. Conservar e incrementar los contenidos de la materia orgánica del suelo en los diferentes agroecosistemas coadyuva a mantener los rendimientos de éstos a través del tiempo (Biederbeck, *et al.*, 1994; FAO, 2002; Porta *et al.*, 2003; Manzonía *et al.*, 2008).

La biomasa aérea y radical de las plantas, además de cumplir ciertas actividades específicas, adiciona grandes cantidades de materia orgánica al suelo. Las funciones de las raíces están relacionadas con los tejidos que las conforman, el tamaño y las características morfológicas de las mismas. El sostén, la conducción de nutrientes y la mayor parte de la fijación de carbono debajo del suelo está a cargo de las raíces que presentan principalmente tejido secundario, mientras que la absorción de nutrientes y del agua están relacionadas con las raíces que presentan tejido primario; estas últimas son comúnmente denominadas raíces delgadas y se han caracterizado por ser una de las estructuras más dinámicas y activas de la planta (Jiménez, y Arias, 2004).

Por lo anterior, esta tesis se realizó para determinar el comportamiento de estas variables en agroecosistemas de sabana. El trabajo se divide en dos partes; en la primera se estudia y presentan los resultados sobre el contenido y calidad de la materia orgánica en un suelo Acrisol húmico de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, donde existen seis diferentes agroecosistemas: Acacia, Eucalipto, Hule, Piña, Pasto Humidícola y Acahual.

En la segunda parte de esta tesis se muestran los resultados sobre la densidad de longitud de raíces delgadas en cada uno de los agroecosistemas estudiados, con la finalidad de contribuir al conocimiento de las raíces finas en la absorción de nutrimentos a partir de los materiales orgánicos del suelo.

II. OBJETIVOS

En los agroecosistemas Acacia, Eucalipto, Hule, Piña, Pasto Humidícola y Acahual, existentes en la sabana de Huimanguillo, Tabasco:

1. Determinar la densidad aparente (DAP), el contenido y distribución de la materia orgánica (MO), nitrógeno total (NT), relación carbono-Nitrógeno (C/N), Índice óptico (IO) y carbono orgánico soluble (COS) en los primeros 40 cm, de profundidad
2. Estimar la densidad de longitud de raíces delgadas (DLR) en los primeros 40 cm de profundidad

2.1 HIPÓTESIS

1. Los agroecosistemas Acacia, Eucalipto, Hule, Piña, Pasto Humidícola y acahual establecidos en la sabana de Huimanguillo, Tabasco difieren en sus contenidos de MO, NT, C/N, IO y COS.
2. En los diferentes agroecosistemas en estudio, la densidad y longitud de raíces delgadas disminuye conforme incrementa la profundidad del suelo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Definición de agroecosistemas

Los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales que interactúan con su ambiente físico y químico, han sido modificados por el hombre para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para su consumo y procesamiento. Estas unidades de producción, a menudo manejadas intensivamente, son ecosistemas que cuentan por lo menos con una población de utilidad agrícola, con componentes, interacciones y funciones semejantes, y comprenden: policultivos, monocultivos, sistemas mixtos, sistemas agropecuarios, agroforestales, agrosilvopastoriles, acuiculturales, praderas y pastizales (Hart, 1982; Altieri, 2001; FAO, 1998 y 2008). Un agroecosistema manejado con racionalidad debe ser capaz de mantener su productividad; promover la calidad del medio ambiente y los recursos, base de los cuales depende la agricultura; ser económicamente viable y mejorar la calidad de vida de los agricultores y la sociedad (Conway, 1994; FAO, 1994; Sans, 2007 y Gliessman, 2000).

3.2. La materia orgánica del suelo

La materia orgánica en suelos agrícolas (monocultivos) puede estar presente en contenidos que van de 1 a 6%, sin embargo, este porcentaje puede ser más alto en suelos con usos forestales, agroforestales, con rotación de cultivos o bien suelos orgánicos especialmente si tienen un drenaje insuficiente. La materia orgánica está formada por una serie de componentes que van desde tejidos vegetales y animales poco alterados y productos efímeros procedentes de su descomposición, hasta un material de color pardo o negro, bastante estable, que no presenta semejanza alguna con las estructuras anatómicas de las que procede. La totalidad de sustancias orgánicas presentes en el suelo incluyen también organismos edáficos vivos (biomasa del suelo), aunque éstos normalmente no representan más del 5% de la materia orgánica (Russell, 1989; Thompson y Troeh, 1988). Por su papel central en el establecimiento de la fertilidad (física, química y biológica) del suelo, la materia orgánica es considerada de vital importancia en la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo y, desde el punto de vista ambiental, es la encargada de la captura de carbono y la biodiversidad edáfica (Rosado, 1982; Larson y Pierce, 1991; Robert, 1996; Koopmans, 2001; Carter 2002).

La materia orgánica está compuesta por proteínas, y algunos de los productos de su descomposición son: carbohidratos, ácidos orgánicos, grasas, resinas, entre otros. Los elementos

químicos mayoritarios de la materia orgánica son: oxígeno, carbono, nitrógeno, hidrógeno, fósforo y azufre (Lehninger, 1972; Kononova, 1982; Espinosa, 1996; González, 2003; FAO, 2005).

El contenido de materia orgánica total en suelos agrícolas cambia lentamente a través del tiempo; así, la descomposición de todos sus componentes puede tardar décadas a siglos dependiendo del manejo del suelo y los cultivos, el origen del material que llega al suelo, los factores climáticos (temperatura y humedad) y las propiedades del suelo como, textura, mineralogía, acidez, etc. (Biederbeck *et al.*, 1994; Lal *et al.*, 1995; FAO, 2002). La Figura 1 muestra la composición de los diferentes constituyentes de la materia orgánica del suelo.

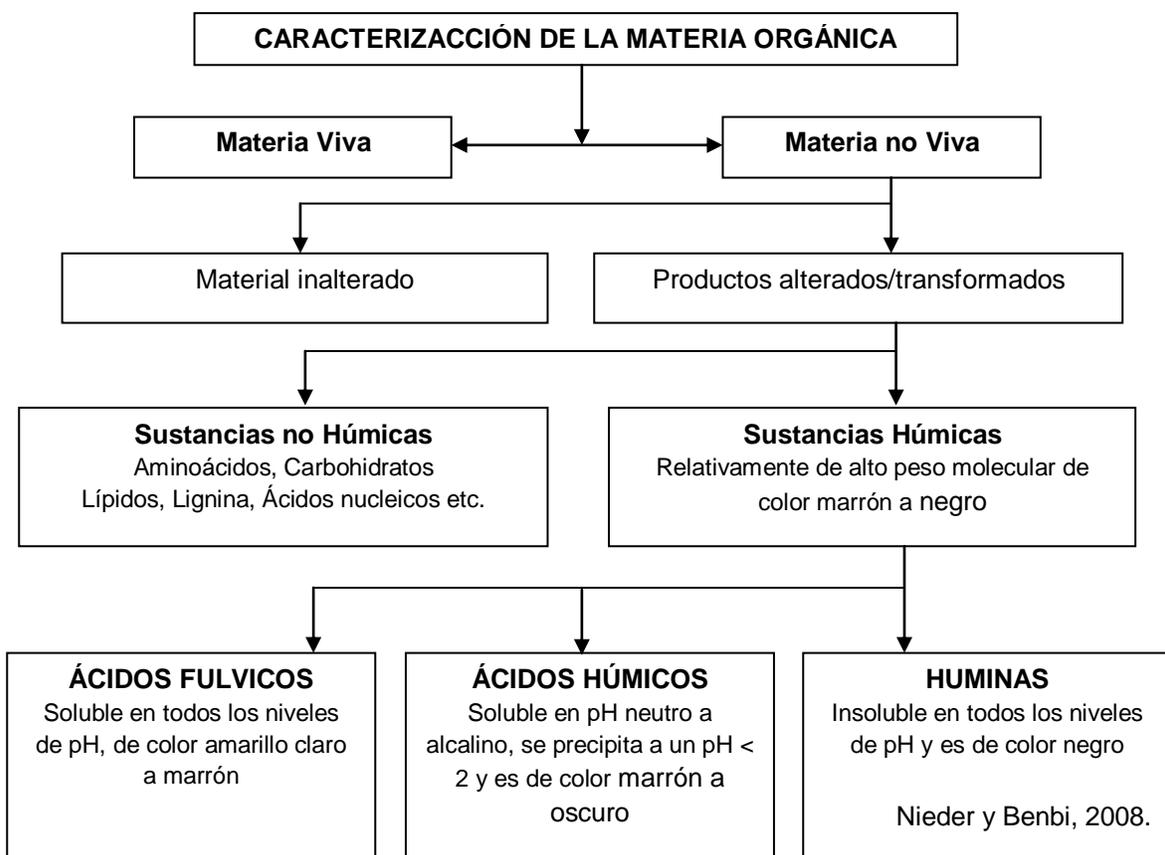


Figura 1. Composición de la materia orgánica del suelo

3.2.1. Importancia de la materia orgánica del suelo

La materia orgánica es el indicador utilizado con más frecuencia para evaluar la calidad del suelo, influye de manera directa en funciones agrícolas, ambientales (producción y economía). Regula el grado de acidez (pH) y aumenta la capacidad del suelo para retener nutrientes, proporciona, a través del proceso de mineralización, nuevos nutrientes para los vegetales, actúa como amortiguador (capacidad tampón) de la actividad de los agroquímicos que se aplican al suelo, favorece la captura de carbono, calidad del aire y, de manera general, mejora el ambiente edáfico, por lo que la cantidad, diversidad, y actividad de la fauna presente en el suelo están directamente relacionadas con la materia orgánica (Rosell *et al.*, 2001; FAO, 2002; Carreira, 2005; Galantini y Suñer 2008, Julca *et al.*, 2006). En los procesos que se realizan de la materia orgánica del suelo se distinguen dos fases: la humidificación y la mineralización. En la primera se forma el humus joven, que también se llama “lábil” o “libre”, porque todavía no está fijado o ligado a las partículas del suelo, sino simplemente mezclado con ellas, tiene una relación C/N entre 9 y 10, es sede de una intensa actividad microbiana y se le puede considerar como un elemento fundamental de la fertilidad del suelo; en la segunda, se forma el humus estable o “estabilizado”, su composición es muy compleja (humina, ácidos húmicos y fúlvicos), tienen una relación C/N constante superior a 15, esta fase de mineralización es muy lenta, su descomposición ocurre a una tasa de 1 a 2% al año, liberando así los minerales esenciales para las plantas, pero este material, sobre todo favorece procesos que se relacionan con el incremento de la fertilidad física del suelo, (Gros y Domínguez 1992, Navarro *et al.*, 1995, Cepeda, 1991). En general, los procesos de descomposición de la materia orgánica a través de los cuales se forman diversos compuestos que son aprovechados por las plantas, se le conoce como mineralización, de la cual se distinguen dos tipos, (mineralización primaria), afecta la materia orgánica fresca que todavía no está totalmente incorporada al suelo y (mineralización secundaria) la cual se genera a partir de los compuestos húmicos (Cepeda, 1991). En el Cuadro 1 se muestra la composición química de diferentes organismos vegetales que dan lugar o son parte estructural del reservorio orgánico del suelo.

Cuadro 1. Composición química aproximada de organismos vegetales superiores e inferiores del suelo (Kononova, 1982).

Órgano o Parte	Ceras, grasas y resinas	Proteínas	Celulosa	Hemicelulosa, hidratos y carbohidratos	Lignina
	% en peso seco				
Leguminosas					
herbáceas:					
Raíces	10-12	10-15	20-25	25-30	10-15
Hojas	-	12-20	15	10-12	5
Gramíneas	5-12	5-10	25-30	25-30	15-20
herbáceas:					
Raíces					
Árboles de hoja					
ancha:					
Hojas	3-5	4-10	15-25	10-20	10
Madera	-	0.5-1	40-50	20-30	20-25
Coníferas:					
Hoja	20-25	5-7	20	15-20	15
Madera	-	0.1-1	45-20	15-25	25-30
Musgos	-	5-10	15-25	30-60	No hay
Líquenes	-	3-5	5-10	60-80	8-10
Algas	-	10-15	5-10	50-60	No hay
Bacterias	-	40-70	No hay	Mucosidad	No hay
MO del suelo	0.8-7.7	30-35	3-5	5-12	30-50

3.2.2. Influencia de la materia orgánica en las propiedades del suelo

La materia orgánica es considerada una mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas, desempeña un importante papel en los suelos agrícolas. A pesar de que constituye solo una pequeña fracción de la mayoría de los suelos, es un componente dinámico que ejerce una influencia dominante en muchas propiedades y procesos del suelo. Frecuentemente un efecto lleva a otro, de modo que, de la adición de materia orgánica a los suelos, resulta una cadena compleja de múltiples beneficios (Corbella y Fernández, 2003).

La materia orgánica es considerada como el indicador más importante de la calidad edáfica y de su productividad. Influye de manera directa sobre la fertilidad química de los suelos,

principalmente, en el suministro y regularización de las tasas de liberación de los elementos nutritivos mayores (en particular N, P y S) y micronutrientes, en la estabilización del pH, en el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y los fenómenos de absorción (Salas, 1979; Gregorich y Carter, 1997; Labrador, 2001; Haynes y Beare, 2005); en la fertilidad física de los suelos favoreciendo la estabilidad de agregados, la densidad aparente, la estructura y propiedades relacionadas con la conductividad hidráulica, el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la capacidad de almacenamiento del agua, la erosión, el intercambio gaseoso, la compactación y, por lo tanto, el buen desarrollo de las plantas (Hans y Bornemisza, 1994; Graetz, 1997; Bautista *et al.*, 2004).

En cuanto a la fertilidad biológica de los suelos, la materia orgánica favorece el incremento de micro y macro fauna y, por ende, el de la mineralización, proceso en el que la respiración microbiana libera CO₂ (8,000 kg ha⁻¹). Sin esta gran actividad de respiración de los organismos del suelo, el crecimiento de las plantas se reduciría a un mínimo (Graetz, 1997; Restrepo, 2004).

3.2.3. La materia orgánica en la sustentabilidad del suelo

La producción sustentable debe basarse en sistemas que incrementen la acumulación de carbono del suelo. La fuente primaria de carbono orgánico está constituida por las partes aéreas de los cultivos, las raíces y exudados radicales, una vez en el suelo, el carbono orgánico soluble sigue la vía de la mineralización transformándose en CO₂ y escapando a la atmósfera, o se almacena en el suelo mediante la humificación (Swift y Woome, 1993; Andriulo y Cordone, 1998; Carter, 2001; Porta *et al.*, 2003).

La sustentabilidad, en el contexto de la producción agrícola, implica preservar y mejorar la capacidad productiva del sistema desde el punto de vista agronómico, económico y ambiental, así como la calidad y la cantidad de los recursos renovables y no renovables, incluidos en el sistema productivo (suelo, agua, aire y biodiversidad, entre otros). Entre éstos se destaca el suelo, como un recurso finito no renovable que regula y distribuye el flujo de agua en el ambiente y sirve como un amortiguador en la formación, atenuación y degradación de compuestos ambientales peligrosos. La sustentabilidad implica un manejo eficiente en los agroecosistemas, con mínima dependencia de insumos, agroquímicos y energéticos y con el manejo implícito de la MO la cual mejora la eficiencia y la conservación del ambiente; mantiene altas concentraciones de carbono (C) (aproximadamente 58% de la MO es C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S). Con una

relación C/N/P/S estimada en 140/10/1.3/1.3; a partir de esta información se estima que un 1% de MO en 20 cm de suelo con densidad de 1.1 t m^{-3} contiene 22 t ha^{-1} de materia orgánica, entre $12\text{-}13 \text{ t ha}^{-1}$ de C, $1\text{-}1.2 \text{ t ha}^{-1}$ de N, $90\text{-}120 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, y $90\text{-}120 \text{ kg ha}^{-1}$ de S (Altieri, 1994; FAO, 2002; García, 2004).

3.2.4. El nitrógeno en el suelo

El nitrógeno es único entre los nutrientes esenciales de las plantas superiores, por el papel que desempeña en los sistemas biológicos y su ciclo complejo. Es el elemento que limita más frecuentemente la producción de los cultivos y el que demanda más habilidad en el manejo. No proviene de la degradación de la roca madre, todo el que normalmente se encuentra en el suelo se deriva del existente en la atmósfera terrestre a través de diferentes procesos de fijación, fundamentalmente biológica. El nitrógeno orgánico (de la MO) puede representar hasta el 97% del nitrógeno total en los suelos. Las principales formas asimilables de nitrógeno en el suelo son la nítrica y la amoniacal, sin embargo, éstas representan sólo una pequeña fracción del nitrógeno en la naturaleza y serían insuficientes para mantener la demanda de la vegetación existente en la corteza terrestre (Hans y Bornemisza, 1994; INPOFOS, 1997; Loomis y Connor 2002; Navarro, 2003).

Las plantas cultivadas en suelos ricos en nitrógeno no solo tienen rendimientos más altos sino que, a menudo, son más ricas en proteínas y, por consiguiente, más nutritivas para los humanos; además, extraen del suelo mayor cantidad de nitrógeno que de cualquier otro nutrimento. Contenidos elevados de nitrógeno total en el suelo pueden ser indicio de acumulación de materia orgánica con débiles velocidades de mineralización a consecuencia de una baja actividad microbiana (Alexander, 1994; Urbano, 2001; Porta *et al.*, 2003; Stanley, 2007).

3.2.5. Relación carbono nitrógeno (C/N)

La dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de nitrógeno en un suelo es determinada por la relación C/N, de esta manera, la materia orgánica del suelo con una relación C/N de 30 (30:1) favorece la inmovilización; en tanto que con relaciones bajas (20:1) la mineralización es más rápida, por lo que ambos procesos resultan favorables para aumentar la fertilidad del suelo. La relación C/N sirve de índice para caracterizar el estado de humificación de la MO, cuando es alta, la actividad de los microorganismos es intensa y sus necesidades de nitrógeno son elevadas;

cuando desciende la relación, disminuye la actividad microbiana y se hace disponible el N mineral para las plantas (Urbano, 2001).

La acción microbiana puede mineralizar o inmovilizar el nitrógeno, pero el principal factor que determina cual de los dos procesos va a ocurrir es la relación C/N. El interés agrícola de este parámetro está en correspondencia con la velocidad de descomposición de la MO, la abundancia de la biomasa microbiana es resultado de la calidad de los residuos (o abonos), se considera un buen abono aquel en que la relación C/N está en un intervalo de 25 a 35. Por el contrario, cuando la MO permanece sin descomponerse o lo hacen muy despacio, se dice que mantienen una relación C/N elevada (>35) (Heal *et al.*, 1997; Thompson y Troeh, 1988; Urbano, 2001).

La descomposición de la materia orgánica genera una elevada demanda de nitrógeno, ya que los hongos y bacterias que intervienen en su transformación tienen relaciones C/N mucho más bajas que la materia orgánica que consumen. Por ello, se puede predecir que la materia orgánica con contenidos altos de nitrógeno se descompondrá más rápidamente, al favorecer el crecimiento microbiano (Cotrufo *et al.*, 2001; Porta *et al.*, 2003).

3.2.6. Carbono orgánico soluble (COS)

El carbono forma el “esqueleto” de todas las sustancias orgánicas. Su ciclo se interrelaciona estrechamente con los ciclos del O, N, P y S. Las plantas asimilan C generalmente en forma inorgánica (CO_2) y lo convierten en azúcares por medio de la fotosíntesis que luego son transformados en diversos compuestos orgánicos. Mediante la respiración celular de las plantas y animales y la descomposición de las sustancias orgánicas el C regresa a su estado inicial de CO_2 (Restrepo, 2004).

El COS está relacionado con el N lábil que potencialmente se mineraliza, por lo general su valor no supera los 200 mg de C kg^{-1} de suelo, constituye el C orgánico disponible en formas rápidamente utilizables como fuente de nutrición y energía para microorganismos heterótrofos que llevan a cabo actividades como la fijación de N, desnitrificación e inmovilización de nutrientes, entre otros (López, 1995; Valderrama, 1998).

El COS está estrechamente asociado con las tendencias de mineralización del nitrógeno y con las formas lábiles de la materia orgánica del suelo, por lo que puede constituir un estimador del potencial de nitrógeno (Galvis y Etchevers, 1996; Alejo, 2007).

3.3. Biomasa radical

Las raíces son estructuras cuya función principal es la captura de nutrientes y agua, además de servir de sostén de las plantas. Su distribución a lo largo del perfil del suelo está en función de la concentración de nutrientes, así como de las propiedades químicas y físicas (Álvarez y García, 2003).

Aunque de manera general, el sistema radical de las plantas ha sido poco estudiado, en la ciencia del suelo es importante tenerlo en cuenta, dado que al conocerlo se pueden entender las relaciones entre las necesidades fisiológicas de las plantas, el aporte de nutrimentos y agua, y el desarrollo radical, además tiene roles importantes en la fijación de C (Pritchett, 1986; Jiménez y Arias, 2004; Gaitán, *et al.*, 2005).

Morales (1997), manifiesta que el enfoque de diversos estudios sobre bosques secundarios en los trópicos, se ha centrado en la caracterización de la dinámica de la sucesión, y la estructura vertical y horizontal. No obstante, un factor importante que ha sido poco estudiado es la función de las raíces de la vegetación en el sostén, absorción de nutrimentos y reservas de energía, entre otros.

Fabiao *et al.*, (1994) manifiesta que el crecimiento de los árboles es dependiente de las características edáficas debido a su influencia sobre el desarrollo de las raíces. En tal sentido, Pritchett (1986) señala que el volumen de suelo disponible para las raíces, determinado por la profundidad del suelo, es uno de los principales factores que influye en el crecimiento de los árboles al afectar la disponibilidad de agua y nutrientes. Sin embargo, la profundidad del suelo es generalmente determinada por convención, conveniencia o arbitrariamente, más que por la observación directa del sistema radical (Gaitán *et al.*, 2005). Por lo tanto, un mejor conocimiento de la densidad y distribución, en profundidad, de las raíces más activas de los árboles y su relación con las propiedades del suelo puede constituir una herramienta importante en la elaboración de modelos de crecimiento para predecir la productividad de los sitios de cultivo.

3.3.1. Densidad de longitud de raíces finas (DLR)

El consumo de nutrientes por parte de las plantas depende de la habilidad de las raíces para absorberlos, de la capacidad del suelo para suministrarlos y de la accesibilidad a los mismos; estas funciones son determinadas por el tamaño y configuración del sistema radical (Misra *et al.*, 1988), que a su vez está relacionado con los tejidos que lo conforman, el tamaño y características

morfológicas. El sostén, la conducción de nutrientes y la mayor parte de la fijación de C bajo el suelo está a cargo de las raíces que presentan principalmente tejido secundario, mientras que la absorción de nutrientes y del agua están relacionadas con las raíces que presentan tejido primario; estas últimas son comúnmente denominadas raíces finas y se han caracterizado por ser una de las estructuras más dinámicas y activas de la planta (Jiménez y Arias, 2004).

Las raíces finas son las principales estructuras responsables de la absorción de agua y nutrientes, ya que representan 90 a 95% de la longitud total del sistema radical y, por lo tanto, constituyen la mayor superficie de contacto con el suelo. Su densidad permite estimar la capacidad de las plantas para tomar los nutrimentos para su crecimiento y desarrollo (Baker *et al.*, 2001, Gaitán y Penón, 2003; Gaitán *et al.*, 2005).

Morales (1997) indica que la biomasa radical es un parámetro que expresa la cantidad de biomasa (g de materia seca) en una unidad de área determinada en la profundidad de muestreo (g m^{-2}), por lo que se puede tomar como parámetro para estimar la fijación de carbono en el ecosistema. La densidad lineal (m/m^2 , DLR) es una variable que emplea el valor en longitud de las raíces analizadas, expresándolas en una unidad de área específica, por lo que se relaciona en la aireación del suelo, la conducción de agua y nutrientes después de la muerte de estas pequeñas estructuras. Gaitán y Penón (2003) encontraron como resultado, en un estudio realizado sobre la resistencia mecánica del suelo y raíces finas en eucalipto, que la mayoría de las raíces finas se localizan en el horizonte superficial del suelo y lo exploran en forma selectiva, hallándose en mayor cantidad en las zonas del perfil que presentan menor resistencia mecánica. Fabiao *et al.*, (1994) analizaron la distribución de raíces delgadas (<6 mm) en los primeros 70 cm del suelo en dos rodales de *Eucalyptus globulus* de 12 y 18 años, hallaron que el 71,9% y el 57,9%, respectivamente, de la biomasa de raíces finas se encontraban en los primeros 20 cm superficiales. Moreno *et al.*, (2005a y 2005b) en estudios realizados en dos sistemas agroforestales de dehesas encina-trigo y encina-pasto, encontraron que los sistemas radicales para estas especies fueron profundos para árboles y someros para los cultivos y pastos naturales e indican que sus resultados están acordes con el concepto de doble capa (profunda y superficial), en el reparto del agua edáfica entre dos estratos vegetales. Muchos autores (Ehleringer *et al.*, 1991; Sala *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1997; Walker *et al.*, 1981) señalan además, que las plantas leñosas toman la mayor cantidad del agua de los horizontes inferiores, contrario a lo que hacen las herbáceas.

3.4. Características de los agroecosistemas en estudio

3.4.1. Acahual

Un acahual es aquella vegetación arbórea que surge de manera espontánea en terrenos que estuvieron bajo uso agrícola o pecuario en zonas tropicales, que cuentan con más de quince árboles por hectárea con un diámetro normal mayor a 25 centímetros, o bien, con un área basal menor a cuatro m², por hectárea, contabilizada a partir de los árboles que poseen un diámetro normal mayor de 25 centímetros (DOF, 1998).

3.4.2. Acacia (*Acacia mangium* Willd.)

Pertenece a la familia *Fabaceae*, se le conoce con el nombre común de acacia mangium y como nombre comercial black wattle y mange. Es un árbol de rápido crecimiento en las tierras bajas tropicales, multipropósito, para fijación de N y producción de forraje. Es de los más utilizados en los programas de reforestación en Asia, el Pacífico y en los trópicos húmedos en general. Se adapta a suelos ácidos, tiene buena capacidad para fijar nitrógeno, convirtiéndose en una posible alternativa para la recuperación de suelos degradados. En este sentido, se han reportado mejoramientos significativos de los contenidos de carbono orgánico, fosforo extraíble, calcio y densidad aparente del suelo en los primeros 15 cm de profundidad después de tres años de establecida (Fisher, 1995).

Aguilar (2006) reporta que *Acacia mangium* es altamente productora de biomasa, a los 3 años de edad una plantación produce 10.39 t ha⁻¹ de biomasa foliar y la biomasa de las ramas finas y gruesas disminuye con el incremento en edad. La biomasa de la hojarasca varía entre 3.5 y 5 t ha⁻¹ para las plantaciones de 2 a 4 años, siendo esta producción mayor que la reportada para la plantación de 5 años con 1.47 t ha⁻¹. La producción de biomasa forrajera presenta su punto óptimo a los 3 años, en contraste con la utilización de la biomasa para fines forestales, la cual es requerida en plantaciones de mayor edad. La producción de biomasa foliar y la hojarasca producida contribuye al aumento de materia orgánica y, por consiguiente, al mejoramiento de la propiedades físicas y químicas del suelo. Estudios realizados en suelos ácidos (pH 4.6) en Panamá muestran que la integración de la acacia en pasturas con *Brachiaria humidicola*, contribuye al mejoramiento de la calidad de este pasto forrajero y al aumento del contenido de fósforo y nitrógeno del suelo (FAO, 1999).

3.4.3. Eucalipto (*Eucalyptus ssp*)

El término eucalipto designa numerosas especies botánicas de árboles, de la familia Myrtaceae, todas originarias de Australia y Tasmania. Son de los árboles más conocidos de la flora australiana ya que por su rápido crecimiento se ha extendido por todo el mundo para su aprovechamiento industrial (Brañas y Merino, 2000).

Hartney (1995), menciona que existen más de 600 especies de eucaliptos, algunas comercialmente importantes para la producción de madera, pulpa para papel y aceites esenciales. Por otra parte, la FAO (1981), indica que la mayoría de estas especies toleran bajas altitudes, han desarrollado mecanismos de sobrevivencia y tienen bastante éxito al ser introducidas a otros países; además de que han mostrado un gran potencial y se cultivan en diferentes regiones tropicales del mundo, alcanzando crecimientos similares o incluso superiores a los de su área de origen. Lo cual indica la bondad de su comportamiento y la adaptabilidad que tienen en condiciones ambientales muy diversas.

Pérez *et al.*, (2005), señala que el eucalipto se introdujo a México a principios del siglo XX y se ha usado en gran escala para la reforestación de tierras degradadas. Actualmente hay más de 25 especies diferentes plantadas en todo el país pero solo algunas para uso industrial. En México existen 25,000 ha plantadas con eucalipto, superficie que se incrementa cada año. Las principales regiones productoras son Las Choapas y Huimanguillo, con 15,000 ha entre ambas. En estas zonas la producción de eucalipto se destina, entre otros usos, para fabricar papel (Crous *et al.*, 1998).

En nuestro país se localizan 13 plantaciones de Eucalipto establecidas para fines comerciales, utilizadas como madera para aserrío y para la extracción de celulosa, las cuales se localizan en el estado de Tabasco y son las plantaciones más importantes en cuanto a tamaño, sumando un total de 11,689 ha (SEMARNAT, 2001).

La mayoría de las plantaciones forestales tiene en común la finalidad de producir madera para diferentes usos, sin embargo, estas plantaciones no solo cumplen estos propósitos, adicionalmente son importantes para la protección de otros recursos, por ejemplo la conservación del suelo, retención de agua, adición de materia orgánica al suelo, protección de fauna silvestre, entre otros.

En Nuevo Gales, Sur de Australia, se llevan a cabo proyectos de restauración de 120,000 ha de suelos salinos por medio de plantaciones de *Eucalypto*, donde además del control de la salinidad

se pretende obtener biomasa para energía, carbón vegetal, captura de carbono y para mejorar la biodiversidad (Walsh *et al.*, 2003).

3.4.4. Hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg)

Es un árbol de rápido crecimiento que puede alcanzar 40 m de altura y 35 cm diámetro (Dap) en unos cuantos años. Tiene buen crecimiento en suelos bien drenados, profundos, cuyo pH varíe de 4.0 a 6.5. El árbol crece en pendientes que van de cero a 70%, desde el nivel del mar hasta 1200 msnm (Silva *et al.*, 1998). En suelos ácidos es posible que esta planta consiga abastecer sus necesidades nutrimentales por poseer un sistema radical muy desarrollado, siendo el nitrógeno el elemento que más requiere para su desarrollo (Coelho, 1999).

El estado de Tabasco cuenta con una superficie plantada de hule de 3,847.57 ha, el 57% (2,222) está plantado en el municipio de Huimanguillo. Este cultivo representa un apoyo económico para los productores de la localidad, además que con el establecimiento de estas plantaciones se protege el suelo de la erosión por diferentes factores ambientales, ya que con las hojas caídas se acumula la materia orgánica en el suelo (SIAP, 2007).

3.4.5. Piña (*Ananas comusus* L.)

La piña pertenece a la familia de las bromeliáceas. Se considera originaria del sur de Brasil, norte de Argentina y Paraguay. Los requerimientos climáticos y edáficos son: altitudes de 0 a 880 msnm; temperaturas de 30°C en el día y 20°C en la noche. Puede desarrollarse en sitios cuya precipitación va de 565 mm hasta más de 2000 mm anuales (Rebolledo *et al.*, 1998). Según el SIAP, (2007), en el municipio de Huimanguillo, el cultivo de piña ocupa una superficie establecida de 1,287.00 ha (que es el total del Estado) en suelos ácidos de la sabana, con una producción total de 42,400 t y un rendimiento promedio de 33 t ha⁻¹. Este cultivo por su valor de producción (\$ 126,570,000.00) representa un importante sustento económico para los productores del municipio de Huimanguillo y además es una sustancial fuente de empleo, ya que para su cultivo se requiere de mucha mano de obra (Medina y García, 2007).

3.4.6. Pasto Humidícola (*Brachiaria humidicola*)

El género *Brachiaria* es originario de África tropical, cuenta con alrededor de 80 especies. En México se cultiva ampliamente, mostrando capacidad de adaptación a las condiciones

edafoclimáticas del trópico mexicano (Enríquez 1994). *Brachiaria humidicola* es una gramínea prominente dentro de su género para la región de trópico húmedo, debido a que soporta inundaciones, es tolerante a la mosca pinta, de fácil propagación, y se adapta fácilmente a suelos ácidos y de baja fertilidad (Enríquez *et al.*, 1999).

Los pastizales en el estado de Tabasco ocupan una superficie de 1,650,000 ha (66.9% de la extensión total del estado), mientras que la cubierta arbolada ocupa solo 122,958 ha, lo que representa solo el 4.98% de la superficie total del estado (Pastrana *et al.*, 2003, citado por Ramos, 2006).

El establecimiento de pastos en suelos tropicales tiene como objetivo alimentar la ganadería, sin embargo, este cultivo también tiene otras funciones como son: captura de carbono y aumento de materia orgánica en el suelo. En pasturas bien manejadas los sistemas radicales pueden redistribuir el carbono en las capas más profundas del suelo. Las altas tasas de producción de raíces de los pastos pueden explicar su capacidad para acumular carbono edáfico (Rao *et al.*, 1998; Nepstead *et al.*, 1991; Veldkamp 1993; Neill *et al.*, 1997).

IV. LITERATURA CITADA

- Adesogan, A. T. A. 2002. Critical Evaluation of Selected Nutritive Values Methods Proceedings. 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. <http://www.animal.ufl.edu>.
- Aguilar A. J. I. 2006. Producción de biomasa en plantaciones de *Acacia mangium* Willd, de diferentes edades en la región de los Llanos Centrales. San Carlos, Cojedes, Venezuela. <http://bibagr.ucla.edu.ve/cgi>. 69 p.
- Alejo S. G. 2007. El carbono soluble como indicador de calidad química de materia orgánica. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Montecillo Edo de México. 103 p.
- Alexander M. 1994. Microbiología del suelo. 2^a edición. Edit. AGT S.A. México. 491 p.
- Altieri M. A. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. 386 p. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR17178>. pdf.
- Altieri M. A. 2001. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. 34 p. <http://www.infoagro.net/shared/docs/a2/AgroecAltieri.pdf>.
- Álvarez S. J. y García, N. E. 2003. Ecología del suelo en la selva Tropical húmeda de México. Instituto de Ecología, A.C., instituto de Biología y Facultad de Ciencias, UNAM. Xalapa, México. 316 p.
- Andriulo A., y Cordone, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. Siembra directa. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 333 p.
- Baker, T., Conner, T. W., Lockaby, H. B. G., Stanturf, J. A., Burke, M. K. 2001. Fine root productivity and dynamics on a forested floodplain in South Carolina. *Soil Sci. Soc. Am. J.*
- Bautista C. A., Etchevers B. J., Castillo R. F., Gutiérrez, C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. Asociación Española de Ecología Terrestre. Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. 8 p.
- Biederbeck, V., Janzen, O. H., Campbell, H. C., and Zentner, R. P. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biol. Biochem.* 1656 p.
- Brañas J., González R., y Merino A. 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de Eucaliptos Globulus del Noroeste de la península Ibérica. 20 p.
- Campbell, C., and Souster, W. 1982. Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. *Can. J. Soil Sci.* 62:651-656.
- Carreira D. 2005. Carbono oxidable. Una forma de medir la materia orgánica del suelo. Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" (Eds. L. Marban y S. Ratto) de la AACCS. Capítulo IV parte 1, 102 p.
- Carter, M. R. 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions. *Agronomy Journal.* 94: 38-47.
- Cepeda D. J. M. 1991. Química de suelos. 2^a Ed. Editorial Trillas. México, D.F. 167 p.

- Chang, C., Laird, D. A., Mausbach M. J., and Hurburgh C. 2001. Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Principal components regression analyses of soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 490 p.
- Coelho J. R., 1999. Importancia de la nutrición en el cultivo del caucho. Informaciones agronómicas. Instituto de la potasa y el fosforo. Georgia, USA. 16 p.
- Conway, G. 1994. Sustainability in Agricultural Development: Tradeoffs Between Productivity, Stability, and Equitability. Journal for Farming Systems and Research Extensions 1-14.
- Corbella R., Fernández U. J., 2003. Materia orgánica del suelo. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán. 10 p.
- Cotrufo, M. F., Ineson P., and Roberts, D. 2001. Decomposition of birch leaf litters with varying C-to-N ratios. Soil Biol. Biochem.
- Crous, P. M., Wingfield, J., Mohammed, C., and Qing, Y. Z. 1998. New foliar Pathogens of Eucalyptus from Australia and Indonesia. Mycol. 532 p.
- Dean, J., J. Molina and C. Clapp. 1986. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. Soil Science Society of America Journal 50: 323-326.
- DOF 1998. Diario Oficial de la Federación. Reglamento de la Ley Forestal. Veintitrés días del mes de septiembre de mil novecientos noventa y ocho. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Dunn, B.W., Beecher, H. G., Batten, G. D. and Ciavarella, S. 2002. The potential of Near infrared reflectance spectroscopy for soil analysis a case study from the Riverine Palin of south eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture p. 607
- Ehleringer, J. R., Phillips, S. L., Schuste, W. F. S. and Sandquist, D.R. 1991. Differential utilization of summer rains by desert plants: implications for competition and climate change. Ecología. 434 p.
- Enríquez Q., F. J., Meléndez N., F. y Bolaños A., E. D. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. INIFAP CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico No. 7. Veracruz. 262 p.
- Enríquez Q. F. J. 1994. *Brachiarias* en el Trópico, Producción y Manejo. En: XVIII Simposium de ganadería tropical. SARH-INIFAP. Campo Experimental. La Posta. Veracruz, Ver., México. Publicación especial N° 6. 90 p.
- Espinosa J. 1996. Relación entre la fertilización mineral, la materia orgánica y los microorganismos del suelo. X Congreso Nacional Agronómico / II segundo Congreso de suelos 1996. Instituto de la potasa y el fosforo, oficina para Latino América, casilla 17-17-980, Quito Ecuador
- Fabiao, A., Madeira M., Steen, E., Katterer, T., Ribeiro C. 1994. Growth dynamic and spatial distribution of root mass in Eucalyptus globulus plantations in Portugal. In: Pereira, J.

- S.; Pereira, H. (Ed). Eucalyptus for biomass production : the state of the art. Brussels: CEC. 60-76 p.
- FAO 1981. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. El eucalipto en la repoblación forestal. Roma, Italia. 723 p.
- FAO 1994. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management. World Soil Resources Report. Rome, Italy. 74 p.
- FAO 1998. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. La biodiversidad para el mantenimiento de los agroecosistemas. Taller técnico internacional organizado por la FAO y la Secretaría del Convenio sobre la diversidad biológica con el apoyo del Gobierno de los Países Bajos. FAO, Roma, 2-4 de diciembre de 1998.
- FAO 1999. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Agroforestería y Sistemas de Producción Animal en América Central. Capítulo 4. Sistemas Agroforestales y la Producción Ganadera. <http://www.fao.org>.
- FAO 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma 2002. Basado el trabajo de Michel Robert Institut National de la Recherche Agronomique. París, Francia. 79 p.
- FAO 2005. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The importance of soil organic matter. FAO Soils Bulletin 80 Rome. 95 p.
- FAO 2008. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. La biodiversidad en los agroecosistemas. <http://www.fao.org/biodiversity/ecosystems/bio-agroecosystems/es/>.
- Fisher, R. F. 1995. Mechanism of tree growth in acid soils. A : Nitrogen fixing trees for acid soils. Evans D. O. y L. T. Szott, Ed. Winrock International, Morrilton, 1-18 p.
- Forján H. 2002. INTA. Importancia de maíz en secuencias de cultivo del sur bonaerense. Su efecto sobre los niveles de materia orgánica del suelo. Copyright 2002. INTA. Rivadavia 1439 (1033) Buenos Aires, Argentina
- Gaitán J., J. Penón E., A. 2003. Efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre la densidad de raíces finas de Eucalyptus globulus. Edafología. Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján. Ruta 5 y 7. 6700 Buenos Aires. Argentina. 125-130 p.
- Gaitán J., J. Penón E., A. Costa M., C. 2005. Distribución de raíces finas de eucalyptus globulus ssp. Maidenii y su relación con algunas propiedades del suelo. Ciencia Forestal, Vol. 15, Núm. 1, 41 p.
- Galantini, J., A. y Suñer L., 2008. Soil organic matter fractions: analysis of Argentine soils. Agriscientia XXV (1): 41-55
- Galvis, A., S. E. Alvarez, and J. D. Etchevers. 1998. A method to quantify N fertilizer requirement. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51: 155-162.

- Galvis E., A. y Echevers, B. J. D. 1996. El carbono soluble como indicador de la calidad del suelo. En Ordaz, Chaparro, V., M. Alcántar González, Castro, Barrales, C. Memorias del XXVII congreso nacional de la sociedad de la ciencia del suelo. Ciudad de Obregón, Sonora México. 31 p.
- García F., O. 2004. Agricultura Sustentable y Materia Orgánica del Suelo: Siembra Directa, Rotaciones y Fertilidad. INOPOFOS. Cono Sur. Buenos Aires.
- Gehl, R. J., and Rice, C. W. 2007. Emerging technologies for in situ measurement of soil carbon. *Climatic Change*. 80:43–54.
- Gliessman, S. R. 2000. Agroecology: ecological process in sustainable agriculture. <http://books.google.com.mx/books>. Gliessman, Agroecology.
- González B. R. 2003. Fertilidad y manejo del suelo: Bases para la agricultura orgánica. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical, “Alejandro de Humboldt”, (INIFAT), La Habana, Cuba.
- Graetz H. A., 1997. Suelos y Fertilización. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.
- Gregorich, E. G., Carter, M., R. 1997. Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Edit. Elsevier Science. 468 p.
- Hans W. F., y Bornemisza, E. 1994. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura San José Costa Rica. 404 p.
- Hart R. D. 1982. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) 1985. Turrialba Costa Rica. 160 p.
- Hart R. D. 1982. Conceptos Básicos sobre Agroecosistemas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 159 p.
- Hartney, V. J. 1995. Vegetative propagation of the eucalyptus. Australian Forest Research. 211 p.
- Haynes, R. J., and Beare, M. H. 2005. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humic soils. In :carter, M. R., Stewart B. A. (Eds.) Advances in soil Science. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. CRC Lewis publishers. 262 p.
- Heal, O. W., Anderson, J. M., and Swift, M. J. 1997. An Historical Overview In: Driven by Nature: Plant litter Quality and decomposition. Eds. G. Cadisch and K. E. Giller. UK. <http://library.wur.nl/WebQuery/wda>.
- INOPOFOS 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Instituto de potasio y fosforo. Querétaro, México. 137 p.
- Jarquín S. A. 2006. Determinación de materia orgánica y nitrógeno en suelos tropicales por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano y Quimiometría. Tesis de Maestría. H. Cárdenas Tabasco, México. 129 p.
- Jiménez R. C., y Arias, A. D. 2004. Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 23 p.

- Julca A. O., Meneses F.L., Blas S. R., Bello A. S. 2006. La Materia Orgánica, Importancia y experiencias de su uso en la agricultura. Universidad Nacional Agraria La Molina, (Chile). Depto. Fitotecnia. Apto. 456. 49-4691 p.
- Kimble J. M, Lal R, Follet RF. 2001b. Methods for assessing soil C pools. In: Lal R, et al. (ed) Assessment methods for soil carbon. Lewis Publ, Boca Raton, FL, pp 3–12
- Kononova M., M. 1982. Materia orgánica del suelo su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. 1ª edición. Edit. Oikos, Barcelona, 363 p.
- Koopmans, C., Goldstein, W. 2001. Soil Organic Matter Budgeting in Sustainable Farming with applications to southeastern Wisconsin and northern Illinois. Michael Fields Agricultural Institute. Bulletin No. 7 February 2001.
- Labrador M, J. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Ediciones Mundi–Prensa México, S. A de C. V. 2ª Edición. 293 p.
- Lal, R. 2007. Farming carbon. Soil and Tillage Research 1-2 (96): 1-5.
- Lal, R., Kimble, I., Levine, E, Stewart, B.A. 1995. Soils and global change. CRC & Lewis publishers, Boca Raton FL
- Larson, W. E., y Pierce, F. J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world. Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand. pp.175-203.
- Lehninger L. A. 1972. Bioquímica. Décima edición. Edit. Omega, Barcelona, España. 886 p.
- Loomis R. S., y Connor, D., J. 2002. Ecología de Cultivos, Productividad de Sistemas Agrarios. Edit. Grupo Mundi Prensa. México S.A. de C.V. México D.F. 569 p.
- López N. U. 1995. El C, N y P de la biomasa microbiana en suelos con diversos manejos. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 158 p.
- Manzonía P., M, Lobo, L., D. Lozano, P., Z. 2008. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la Materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Agrociencia 43: 221-230 p.
- Medina G, J., y García H. S. 2007. Operaciones postcosecha de la piña. Instituto Tecnológico de Veracruz. <http://www.fao.org/inpho/conten>.
- Misra, R. K., Alston, A. M., Dexter, A. R., 1988. Root growth and phosphorus uptake in relation to the size and strength of soil aggregates. I. Experimental studies. Soil Till. 103-116 p.
- Moral T. F., 2004. La materia orgánica del suelo. Departamento de Edafología y Química agrícola. Universidad de Almería. 9 p.
- Morales A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. In: Simposio Internacional Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p.
- Moreno, G., Obrador, J. J, García, E., Cubera, E., Montero ,M. J. and Pulido, F. 2005b. Consequences of dehesa management on the tree-understory interactions. In:

Silvopastoralism and Sustainable land management" published by CAB International, Oxon, UK. (*en prensa*).

- Moreno, G., Obrador, J. J., Cubera, E., Dupraz, C. 2005a. Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. Paper submitted to Plant Soil.
- Navarro G, G., y Navarro B, S. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones mundi prensa Madrid.
- Navarro P., J. Moral L., H. Gómez L. & Mataix B. 1995. Resúdos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. Servicio de Publicaciones. Alicante. España, 108 pp.
- Neill, C. C. C., Cerri, J. M., Melillo, B. J., Feigl, P. A., Steudler, J. F. L. Moraes and Piccolo, M. C. 1997. Stocks and dynamics of soil carbón following deforestation for pasture in Rondania. 9-28 p. In: R Lal et al. (ed). Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Nelson, D. W, Sommers L. E. (1996) Total carbon, organic carbon, organic matter. In: Sparks DL et al. (ed) Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical methods. SSSA Book Ser 5 SSSA and ASA, Madison, WI
- Nepstead, D. C., Uhl, C., Serrao, E. A. S 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: Forest recovery and agricultural restoration. *Ambio*. 20:248-255.
- Pérez V., O. Yáñez, M. M., Álvaro, R. D., Cibrián, T. D., y García, D. S. 2005. Hongos asociados a Eucalipto, *Eucalyptus grandis* Hill: Maid. *Agrociencia* 39: 311-318 pp.
- Porta C. J., López-Acevedo, R.; Roquero D., L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones mundi prensa. Madrid, Barcelona, México. 3ª edición 929 p.
- Pritchett W. L. 1986. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Noriega: Ed. Limusa. 643 p.
- Ramos H. E. 2006. Cuantificación del carbono total almacenado en dos sistemas de pastizales en la ranchería dos montes, Municipio del Centro, Tabasco. Tesis de licenciatura. Universidad de Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias biológicas. Villahermosa, Tabasco. 66 p.
- Rao I. M., Kerridge, P. C. y Macedo, M. C. M. 1998. Requerimientos nutricionales y adaptación a los suelos ácidos de especies de Brachiaria. En Miles J. B., B. L. Maass y C. B. do Valle (Eds) Brachiaria: Biología, Agronomía y Mejoramiento. CIAT, Cali, Colombia y EMBRAPA/CNPQC, Campo Grande, Brasil. 65-89 p.
- Rebolledo M. A., Uriza, A. D., Rebolledo M. L. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. INIFAP. Folleto técnico No. 20. 159 pp.
- Reeves, D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43:131-167.
- Restrepo G., A. 2004. El suelo como base de los agroecosistemas sostenibles. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia. 40 p.
- Robert M. 1996. Capítulo 1. Secuestro de carbono en tierras áridas. Título de la serie: Informes sobre recursos mundiales de suelos. 76 p. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao>.

- Rosado M. F. J. 1982. Influencia de la materia orgánica sobre el cultivo de frijol común, con énfasis en la incidencia de la Mustia Hilachoza (*Tanathephorus cucumeris* Frank. Donk.) en la Chontalpa, Tabasco.
- Rosell, R. A., J. C. Gasparoni and J. A., Galantini, 2001. Soil organic matter evaluation. In *Assessment Methods for Soil Carbon* (Ed. R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett y B.A. Stewart). *Sequence Advances in Soil Science*, Chapter 21, pp. 311-322.
- Russell E. W. 1989. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. 11^{va} Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 1025 p.
- Sala, O.E., Golluscio, R. A., Laurenroth, W. K., Soriano, A. 1989. Resource partitioning between shrubs and grasses in the Patagonian steppe. *Oecologia*. 81: 501-505.
- Salas G. 1979. *La materia orgánica del suelo*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) 1985. Turrialba Costa Rica. 149 p.
- Sans F. X. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas* 16 (1): 44-49. <http://www.revistaecosistemas>.
- SEMARNAT 2001. *Las plantaciones forestales comerciales en México*. <http://semarnat.gob.mx>.
- SIAP 2007. *Ciclo: Cíclicos y Perennes 2007*. Modalidad: Riego + Temporal. Municipio de Huimanguillo Tabasco México. <http://www.siap.gob.mx>.
- Sierra, C. y J. Rodríguez. 1986. Efecto del historial de manejo en la mineralización de nitrógeno. *Ciencia e Investigación Agraria*. 13: 229-228.
- Silva A., C. Santos de A. R., y Paiva de A. V., 1998. Translocación de nutrientes en follajes de *Hevea brasiliensis* (clon) y en acículas de *Pinus oocarpa*. R. *Alfenas* 48 p.
- Smith, D. M., Jarvis, P. G and Odongo, J. C. W. 1997. Sources of water used by trees and millet in Sahelian windbreak systems. *J. Hydrology* 198: 140-153.
- Standford, G., and S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soil. *Soil Science Society of American Proceedings* 36: 465-472.
- Stanley E., M. 2007. *Introducción a la química Ambiental*. Edit. Reverté ediciones, S.A. de C.V. Universidad Autónoma de México. 603 p.
- Thompson L., M. Troeh, F., R. 1988. *Los suelos y su fertilidad*. 4^a Edición. Editorial Reverté, S. A. Centro Pirenaico de Biología Experimental de Jaca. Consejo superior de Investigaciones Científicas Barcelona. 629 p.
- Urbano T. P. 2001. *Tratado de Fitotecnia General*. 2^a Edición. Edit. Grupo Mundi prensa México S.A. de C.V. México D.F. 893 p.
- Valderrama O. J. 1998. *Información Tecnológica*. Vol. 9. N°. 4. Edit. Rosales. Centro de Información Tecnológica. La Serena. Chile. 381 p.
- Veldkamp, E., 1993. *Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica*. Tesis para optar por el grado de Doctorado. Universidad de Wageningen. Holanda.
- Walker, B. H., Ludwick, D., Holling, C. S, and Peterman, R. M. 1981. Stability of semiarid savannah grazing systems. *J. Ecology*. 69: 473-498.

Walsh P. G., Barton, C. V. M., y Montagu, K. D. 2003. El proyecto experimental de la cuenca del río Macquarie en Nueva Gales del Sur, Australia: un enfoque rentable basado en el mercado para reducir la salinidad mediante el establecimiento de plantaciones. *Unasyva* Vol. 54. 212 p.

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SEIS AGROECOSISTEMAS DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO MÉXICO.

RESUMEN

Los suelos de la sabana de Huimanguillo, se localizan en lomeríos con pendientes ligeras, son de baja fertilidad, presentan alta acidez con pH que oscilan entre 4.0 a 5.5 y contenidos de materia orgánica de 1 a 4 %, a veces hasta de 20 %. La materia orgánica desempeña un papel importante en el suelo ya que aporta una gran variedad de elementos nutritivos para las plantas, y modifica la estructura del mismo, el conocimiento sobre su aporte de nutrientes es escaso, por lo que, las estimaciones del suministro al suelo se basan más bien en el rendimiento. El presente trabajo tuvo como objetivo estimar la densidad aparente (Dap), las reservas de carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (Nt), la relación carbono nitrógeno (C/N), el carbono orgánico soluble (COS), y el índice óptico (IO), en seis diferentes agroecosistemas, (piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual), de la sabana de Huimanguillo. Cada uno de estos agroecosistemas contaba con una edad de 10 años aproximadamente, y estaban establecidos en un suelo Acrisol húmico (AChu), representativo de este municipio. Se realizaron 30 edafones (cinco por agroecosistema) y se extrajeron muestras en cada uno de ellos a intervalos de 10 cm, hasta alcanzar una profundidad de 40 cm. Los datos obtenidos se analizaron con el software SAS system versión 9.0, con el procedimiento Proc Anova y prueba de comparación de medias (Tukey (P=0.05)). Los resultados indican que en las seis variables hay diferencias altamente significativas ($\alpha = 0.001$), entre tratamientos y entre agroecosistemas. La densidad aparente fue mayor para el agroecosistema pasto (1.206 y 1.244 g/cm³) en las dos primeras profundidades, con respecto al COT y Nt, los agroecosistemas que mayor porcentaje mostraron fueron; acahual y piña (22.06, 6.57 y 0.49 y 0.45 %), y de COS, piña y acacia (1.82 y 1.54 %). Los valores menores de relación C/N fueron para los agroecosistemas eucalipto y piña y con respecto al índice óptico el valor mayor de absorbancia fue para el agroecosistema acahual.

Palabras clave: Acrisol, agroecosistemas, densidad aparente, carbono orgánico total, nitrógeno total, carbono orgánico soluble, índice óptico y relación C/N.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF ORGANIC MATTER IN THE SAVANNAH SIX AGROECOSYSTEMS HUIMANGUILLO, TABASCO MEXICO.

The savannah Huimanguillo Tabasco of the soils, located on hills with gentle slopes, low fertility, and high acidity with pH occur ranging from 4.0 to 5.5 and organic matter content of 1.0 to 4.0%, sometimes even 20%. Organic matter plays an important role in the ground as it provides a variety of nutrients for plants, and adjust its structure, knowledge about the nutrient that is made low, so that estimates supply of fertilizer to the soil is rather based on performance. This study aimed to estimate the bulk density (Dap), stocks of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), the carbon to nitrogen (C / N), soluble organic carbon (SOC), and optical index (OI) in six different agro-ecosystems (pineapple, eucalyptus, acacia, rubber, grass and acahual), savannah Huimanguillo, Tabasco. Each of these agroecosystems had an age of 10 years or so, and were established in a representative soil of this county, Acrisol humic (Achu). Some 30 edafones (five agroecosystem), and extracted samples each at intervals of 10 cm, reaching a depth of 40 cm in total. The data were analyzed using SAS statistical software system version 9.0, with PROC ANOVA and means comparison test (Tukey (P = 0.05). The results indicated that six variables are highly significant differences ($\alpha \leq 0.001$), between treatments and between agroecosystems. The bulk density was greater for grazing agroecosystem (1,206 and 1,244 g cm³) in the first two depths, with respect to TOC and TN, agroecosystems showed the highest percentage were: acahual and pineapple (22.06, 6.57 and 0.49 and 0.45%), and COS, pineapple and acacia (1.82 and 1.54%). The lower values of C / N were for agroecosystems eucalyptus and pineapple and optical index with respect to the larger value absorbance was for acahual agroecosystem.

Key words: Acrisol, agroecosystems, bulk density, total organic carbon, total nitrogen, soluble organic carbon, optical index and C/N.

1.1 INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo es considerada la principal fuente de nutrientes y el material más importante para contrarrestar el deterioro físico del suelo, mantiene atrapado el carbono (C) en el mismo, evitando así las emisiones de CO₂ a la atmósfera. El contenido total es, con frecuencia, elegido como un indicador de la capacidad del suelo para sostener una determinada productividad y evaluar el potencial del suelo en el aporte de nutrimentos para los cultivos (Galvis, 1998; Sánchez 2006; Pieri y Steiner, 1997), manteniendo una alta relación con la productividad del suelo. Incluso en suelos bien fertilizados, su productividad se reduce por la pérdida de la materia orgánica (Johnston, 1991; Aref y Wander, 1997; Cassman, 1999; Wander, 2004).

Es prácticamente imposible hablar de un tipo de materia orgánica, dado que la naturaleza y los materiales orgánicos que la componen pueden ser de diferente origen (Hernández y Ruíz, 2002). En los agroecosistemas, la MO libera nutrimentos al suelo y ayuda al crecimiento de una diversidad de microorganismos que pueden suprimir la propagación de patógenos en el mismo. Aumenta el pH del suelo debido a los diversos grupos activos que la componen, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos que pueden ser de diferente origen (Aguilera, 2000).

Wong *et al.*, (2000) estudiando a través de incubaciones el comportamiento del aporte de materia orgánica en suelos ácidos (Oxisol y Ultisol) observaron un aumento en pH de 4.8 a 5.8 en el Oxisol y de 4.1 a 6.8 en el Ultisol, durante los primeros 14 días, además de una disminución de Al³⁺, estos procesos fueron continuos, reduciendo su ritmo hasta 42 días de incubación e indican que el mecanismo que dio lugar a la neutralización del ácido fue la complejación de protones y de aluminio por los aniones orgánicos. El contenido de materia orgánica total en suelos agrícolas cambia lentamente a través del tiempo; así, la descomposición de todos sus componentes puede tardar de décadas a siglos dependiendo del manejo del suelo y los cultivos, la fuente que da origen al material que llega al suelo, los factores climáticos (temperatura y humedad) y las propiedades del suelo como textura, mineralogía, acidez, etc. (Biederbeck *et al.*, 1994; Lal *et al.*, 1995; FAO, 2002).

Nieder y Benbi, (2008). Mencionan que conceptualmente la materia orgánica del suelo se puede definir como un conjunto formado por MO viva y MO muerta. La primera está representada por las raíces de las plantas, animales del suelo y la biomasa microbiana; la materia orgánica muerta

está formada por sustancias químicas y por productos de la descomposición biológica de residuos orgánicos vegetales y animales.

La materia orgánica (MO) es el principal indicador de la sustentabilidad de los suelos y es el parámetro que tiene una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Galvis *et al.*, 1998). El suministro nutrimental de los materiales orgánicos, se estima a través de su mineralización (Stanford y Smith, 1972), permitiendo generar modelos que establecen el aporte nutrimental en el tiempo, bajo una condición determinada (Campbell y Souster, 1982; Dean *et al.*, 1986; Sierra y Rodríguez, 1986, Albers *et al.*, 2004). El efecto que la materia orgánica puede tener de forma temporal y espacial sobre la salud del suelo y de la sustentabilidad agronómica se estima también a través del comportamiento del carbono orgánico (total y soluble), el cual contribuyen en la fertilidad química, física y biológica (Nelson y Sommers, 1996; Lal, 2007; Reeves, 1997). El conocimiento de los componentes más fácilmente mineralizables, respecto de la MO total, permiten inferir acerca del enriquecimiento o pérdida de MO en suelos sometidos a diferentes manejos (Gehl y Rice, 2007; Kimble *et al.*, 2007).

Por lo establecido anteriormente, el objetivo del presente estudio fue determinar la densidad aparente del suelo (D_{ap}), el contenido y distribución del carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (Nt), carbono orgánico soluble (COS), índice óptico (OI) y la relación carbono nitrógeno (C/N), en seis agroecosistemas de la sabana de Huimanguillo, a fin de determinar cuál agroecosistema conserva mejor el carbono del suelo.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Sitio de estudio

El estudio se realizó, en la sabana de Huimanguillo, Tabasco, situada entre las coordenadas 17°33' y 17°55' LN y los 93°26' y 93°51' LO. Limita al noroeste con el Plan Chontalpa, al sur con la sierra de Huimanguillo, al este con la cabecera municipal, al oeste con las localidades Francisco Rueda y Laguna de Rosario (INEGI, 2002). Los seis agroecosistemas en estudio se ubicaron específicamente en el Ejido Pino Suárez, perteneciente al mismo municipio.

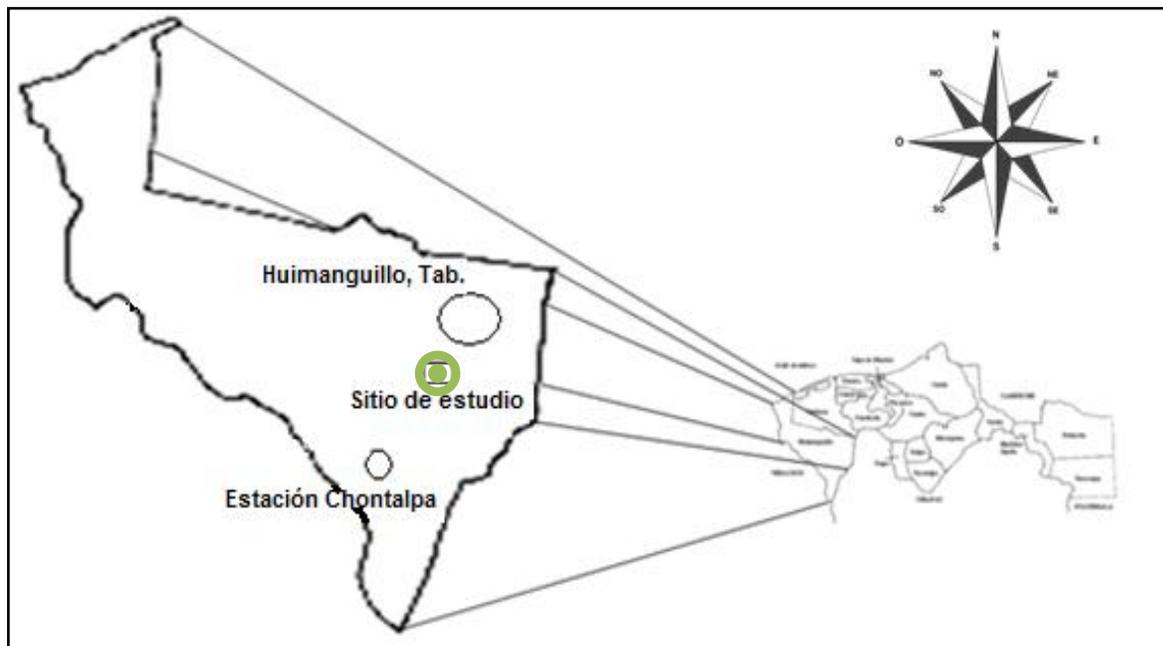


Figura 1.1. Ubicación geográfica del sitio de estudio.

1.2.2. Geología

El sitio de estudio se ubica en una serie de lomeríos de baja altitud (entre 20 y 50 m snm), fisiográficamente constituyen una antigua planicie fluvial erosionada de manera que las corrientes erosivas han formado desniveles, los cuales forman los lomeríos del paisaje con pendientes convexas de 2 a 4 por ciento y pequeños valles estrechos y alargados que forman lo que se conoce como “galería de selva”. La edad data del Pleistoceno, en la era Cuaternaria y en algunos casos se encuentran rocas calizas del Terciario (Palma-López *et al.*, 2007).

1.2.3. Clima

El clima se clasifica como (Am) con abundantes lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26.2°C, con máxima media mensual en mayo de 30.6° C, la máxima y mínima absoluta alcanzan los 45° y 14°C, respectivamente. El régimen de precipitación pluvial del clima (Am) se caracteriza por un total de caída de agua de 2290.3 mm anuales (INEGI, 2002).

1.2.4. Unidades de estudio

Las parcelas experimentales se situaron en una de las unidades de suelos representativas de la sabana de Huimanguillo: Acrisol húmico (AChu), la cual 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 para la selección de las parcelas. Asimismo, se tuvo cuidado en que la edad de los agroecosistemas fuese similar entre ellos, alrededor de 10 años, para que hubiera similitud en tiempo de uso.

También se hicieron recorridos de campo para seleccionar los sitios de muestreo en cada uno de los agroecosistemas ubicando sus coordenadas con la ayuda de un GPS. Los agroecosistemas estudiados en la sabana de Huimanguillo, Tabasco fueron: acacia (*Acacia mangium* Will.), eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg), piña (*Ananas comosus* L.), pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*) y acahual (vegetación secundaria).

1.2.5. Muestreo de suelo y preparación de las muestras

Para la descripción de un perfil del suelo representativo se realizó una calicata de 1.50 m de profundidad, 1.5 m de ancho y 2 m de largo en el agroecosistema piña, la descripción se hizo de acuerdo al manual y la metodología de Cuanalo (1981), la unidad de suelo se determinó de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2007). Los muestreos para caracterizar a la materia orgánica del suelo se realizaron en mayo de 2009, para ello se abrieron seis perfiles de 40 cm de profundidad en cada agroecosistema, los cuales fueron ubicados con el método de zig-zag. Se consideraron 4 profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm) según las sugerencias metodológicas de MacDiken (1997); Hairiah *et al.*, (2001); Etcheverst *et al.*, (2005); y Murthy *et al.*, (2006) tomando 5 repeticiones por cada uno de los seis agroecosistemas estudiados como se muestra en el Cuadro 1.1. Las muestras obtenidas se colocaron en bolsas de polietileno transparente y se identificaron con sus datos correspondientes,

obteniéndose un total de 120 muestras por los seis agroecosistemas. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas del Colegio de Postgraduados, Tabasco.

Las muestras se secaron a la sombra a temperatura ambiente, removiendo el suelo periódicamente, luego se molieron y tamizaron a través de una malla de 2 mm; se guardaron en envases de plástico etiquetados.

Cuadro 1.1. Muestreos de suelo realizados en seis agroecosistemas a diferentes profundidades, para caracterizar la MO en un suelo de sabana de Huimanguillo.

Tratamiento	Agroecosistemas					
T1 0-10	Pi1	Eu1	Ac1	Hu1	Pa1	Ah1
T2 10-20	Pi2	Eu2	Ac2	Hu2	Pa2	Ah2
T3 20-30	Pi3	Eu3	Ac3	Hu3	Pa3	Ah3
T4 30-40	Pi4	Eu4	Ac4	Hu4	Pa4	Ah4

Notación: piña (Pi), eucalipto (Eu), acacia (Ac), hule (Hu), pasto (Pa) y acahual (Ah).
Son 5 repeticiones por tratamiento y 30 por agroecosistema (6X5=30)

1.2.6. Determinación de la Densidad aparente

El desarrollo vegetal es afectado por la degradación de la estructura del suelo, que influye en la relación aire-suelo-agua. Esta relación se asocia con el aumento de la densidad aparente y con el cambio en la distribución por tamaño de los poros. La densidad aparente (D_{ap}) se define como el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total del mismo, incluyendo espacios porosos, expresada frecuentemente en $g\ cm^{-3}$ (Sánchez *et al* 2003).

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades; la real (relación peso-volumen de sus partículas sólidas) y la aparente, que tiene en cuenta el espacio poroso. Esta última refleja y mide el contenido total de macro y micros poros presentes y es importante para el manejo de los suelos, ya que denota el nivel de compactación y por ende la facilidad con que se produce la movilización de aire, agua y nutrientes.

Para conocer la densidad aparente (D_{ap}) se utilizó el método del cilindro, que consiste en la obtención de monolitos de suelo de volumen conocido (MacDiken 1997; Hairiah *et al.* 2001; Etcheverst 2005); el cilindro es introducido hasta los primeros 40 cm de profundidad tomando

muestras cada 10 cm. Las muestras de suelo de cada núcleo fueron secadas a una temperatura constante de 105°C por 48 horas y, posteriormente pesadas con una balanza de precisión 0.01.

Para el cálculo de la densidad aparente se utilizó la siguiente ecuación.

$$Dap = \frac{ms}{vol}$$

Donde:

Dap es la densidad aparente del suelo (g cm^{-3}); **ms** es el peso de la muestra de suelo (g); **vol** es el volumen del cilindro (cm^3).

1.2.7. Determinación del carbono orgánico total (COT %)

La determinación del carbono orgánico total se realizó con el método de digestión húmeda de Walkley y Black (Lenon y Aguilar, 1987; Hairiah *et al.*, 2001; NOM-21 RECNAT-2002) mediante la siguiente ecuación:

$$COT = 0.78 (V1 - V2)N$$

Donde:

COT es el porcentaje de carbono orgánico total; 0.78 es el factor de determinación de Walkley y Black; V1 es el volumen de la solución ferrosa determinado para una muestra en blanco; V2 es el volumen de la solución ferrosa determinada para la muestra problema; y N es la normalidad de la solución ferrosa.

1.2.8. Determinación del nitrógeno total (Nt %)

La determinación del nitrógeno total en el suelo se realizó a través del método Semi-microKjeldahl (AS-25), por procedimientos de digestión, recomendado por la Norma Oficial Mexicana (NOM-21-RECNAT-2002).

Este procedimiento involucra dos pasos: (a) digestión de la muestra para convertir el nitrógeno a amonio o nitrito (NH_4^+); y (b) la determinación de NH_4^+ en el digestado. La digestión del N es desarrollada por calentamiento de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y sustancias como el sulfato o nitrato de potasio (K_2SO_4) que promueven la oxidación de la materia orgánica y la

conversión del nitrógeno orgánico a amonio por incremento de la temperatura de digestión; también emplea catalizadores como el Cu y Se, que aumentan la velocidad de oxidación de la materia orgánica por el ácido sulfúrico. El amonio en el digestado es determinado por titulación del amonio liberado por destilación del digestado con álcali NOM-21 (RECNAT-2002).

1.2.9. Relación carbono nitrógeno (C: N)

El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de los organismos entre ellos bacterias degradadores de la materia orgánica; el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima es de 30. Si no existe suficiente nitrógeno para permitir que las bacterias se multipliquen, la velocidad de degradación de la materia orgánica se verá limitada; al estar presente el nitrógeno en exceso, se produce amoníaco, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso (Guerrero *et al*, 2006, I T D G, 2003).

Con frecuencia se recurre a la relación (C:N) para valorar la tasa de mineralización de la materia orgánica o su grado de humificación, por lo que la determinación de la relación (C:N), primero se debe de determinar la cantidad de carbono y nitrógeno presente en cada una de las muestras analizadas método de Walkley Black (Lenon y Aguilar, 1987; Hairiah *et al.*, 2001; NOM-21 RECNAT-2000), por lo que, con los resultados obtenidos mediante los análisis de laboratorio de carbono y nitrógeno se obtuvo la relación (C:N).

1.2.10. Determinación del carbono orgánico soluble (COS %)

La determinación del COS se realiza por el método P-Olsen (AS-25), por colorimetría con una solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 N ajustada a un pH de 8.5, recomendado por la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2002).

1.2.11. Índice óptico (IO)

Se determinó mediante espectrofotometría método de Fox y Piekielek (1978), en la parte visible o ultravioleta del espectro. Se caracteriza por el debilitamiento de la luz que pasa a través de la

solución (en un porta muestra de 1 cm de ancho), de este modo, la radiación ultravioleta es absorbida principalmente por los dobles enlaces carbono-carbono

El índice óptico o índice E4/E6 es la relación de densidades ópticas de los ácidos húmicos (465 nm/665 nm); lo cual indica la relación inversa entre el grado de humificación y el de condensación de sus componentes alifáticos y aromáticos (Chen *et al.*, 1977). La absorción de la luz de los ácidos húmicos depende directamente del grado de condensación de sus anillos aromáticos. Una baja relación E4/E6 indica alto grado de condensación de constituyentes húmicos aromáticos; inversamente, una alta relación del índice E4/E6 indica bajo grado de condensación aromática (Kononova *et al.*, 1966).

Relaciones E4/E6 bajas están asociadas con tamaños moleculares, pesos moleculares y contenido de C alto, y con contenido de O, grupos carboxílicos y acidez total bajo (Chen *et al.*, 1977). La determinación de las propiedades ópticas y en particular, la densidad óptica de las sustancias húmicas, se definen por su estructura química. Se ha determinado que, cuando en las sustancias orgánicas hay dobles enlaces conjugados, la densidad óptica es directamente proporcional al contenido de estos (Kononova, 1982, Cherkesov, 1975, en Kononova, 1982).

1.2.12. Análisis estadísticos

Los resultados de los parámetros estudiados fueron analizados estadísticamente bajo un diseño completamente al azar. Para cada una de las variables en estudio se efectuó un análisis de varianza univariado, así como la prueba de medias de Tukey (0.05) en función del agroecosistema y profundidad de muestreo (Hinkelmann y Kempthorne, 1994).

Los datos se trataron con el software SAS System for Windows V 9.0 para el análisis de la Dap, MO, NT, COS, IO, y la relación C/N, con cinco repeticiones por agroecosistema.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1 Densidad aparente (Dap g cm⁻³)

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 1.2), se presentan los valores medios obtenidos con la prueba de comparación de medias Tukey (0.05), los cuales indican que hay diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$), entre las profundidades de cada agroecosistemas. El valor más bajo y alto de Dap lo presentaron en la primera profundidad; el agroecosistema piña y pasto con valores 0.61 g cm⁻³ y 1.20 g cm⁻³ respectivamente. La Dap en pasto fue similar estadísticamente en las dos primeras profundidades pero decreció en las siguientes. La carga animal favorece el incremento de la densidad aparente de los suelo por pisoteo constante (Greenwood y McKenzie, 2001; Jaramillo *et al.*, 2010), llegando en ocasiones los efectos a ser similares a los que se presentan por el manejo de la caña de azúcar o de maquinaria dentro de las parcelas (Jorajuria y Draghil, 2000; Vera *et al.*, 2003). Por otra parte León, *et al.* (2006), reportan (0-15 cm de profundidad) para suelos acrisoles húmicos forestales, Dap de 0.84 y 0.90 g cm⁻³ lo que concuerda con los resultados aquí obtenidos (Cuadro 3), pero para sitios cultivados en suelos y profundidades similares a los de este trabajo, diversos autores (CIAT, 1999; León, *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2006), reportan valores de Dap mayores a 1.0 (entre 1.02 y 1.4 g cm⁻³), Los cuales son más altos a los encontrados en la presente investigación. Sin embargo, también muestran contenidos de materia orgánica menor a 3%, los cuales son inferiores a los estimados en los agroecosistemas seleccionados, cuyos valores oscilaron entre 5.88 y 19.57%.

La Dap en los seis agroecosistemas incrementó conforme lo hizo la profundidad (Cuadro 1.2), esto sucede por la reducción de la materia orgánica en el perfil del suelo, lo cual lo hace más compacto (van Wambeke *et al.*, 1983; Alvarado *et al.*, 2001). Al respecto Alvarado y Forsythe (2005), indican que en suelos inorgánicos, la densidad aparente tiende a aumentar con la profundidad del suelo debido a la reducción de la actividad biológica desarrollada en el horizonte A. Cuando no se encuentran capas compactadas, el horizonte enriquecido con arcilla eluviada (B2t) de Ultisoles y Alfisoles presenta un incremento de la densidad aparente. Cabe señalar que una menor densidad aparente, tiende a indicar que el suelo existe un alto contenido de materia orgánica una menor compactación y por lo consiguiente una mayor porosidad y conductividad hidráulica, lo que se refleja en un medio propicio para la penetración radicular y, por ende, en una alta fertilidad natural (Castellanos *et al.*, 2000). Los suelos ganaderos compactados, con

contenidos importantes de MO se ven favorecidos con el paso del arado, el cual reduce de forma importante el efecto del pisoteo (Franzluebbbers y Stuedemann, 2007). Otra forma de solventar los problemas de compactación de los suelos es realizando rotaciones con cultivos o plantaciones, mencionado manejo en el corto plazo (alrededor de tres años), puede mostrar cambios significativos (Corantioquia, 2000).

Cuadro 1.2. Valores promedio de densidad aparente del suelo (g.cm^{-3}), en función de la profundidad, en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Agroecosistema	Profundidad (cm)				Pr > f	C.V	DMS
	0-10	10-20	20-30	30-40			
Piña	0.61a	0.74b	0.84 c	0.92d	0.001	4.745	0.069
Eucalipto	0.76a	0.82b	0.93c	0.94c	0.001	2.662	0.043
Acacia	0.91a	1.15b	1.38c	1.74d	0.001	5.185	0.126
Hule	0.96a	0.99a	1.37b	1.63c	0.001	4.796	0.112
Pasto	1.20a	1.24a	1.37b	1.37b	0.001	2.833	0.069
Acahual	0.84a	1.01a	1.05ab	1.09b	0.001	3.732	0.070

n = 5 repeticiones. Pr>f= probabilidad calculada, C.V= coeficiente de variación y DMS= diferencia mínima significativa. El ANOVA se realizo contrastando la profundidad de cada agroecosistema, Cada uno tuvo cinco repeticiones. Literales diferentes en hileras, indican diferencias estadísticas (Tukey 0.05)

En la (Figura 1.2), se muestran los valores medios de la Dap en las cuatro profundidades de los agroecosistemas en estudio. Los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos del agroecosistema Acacia resultaron ser estadísticamente diferentes entre sí y mostraron el cambio más abrupto entre profundidades varían de 0.91 a 1.74, de hecho su última profundidad fue estadísticamente diferente de las otras (Figura 1.3), en este agroecosistema y en hule se ve el efecto que tiene la hojarasca en la primera profundidad, sin embargo, al parecer la biomasa radical no profundiza demasiado, dado que esta induce incrementos de MO en profundidad (Van noodwijk y De Willigen, 1991).

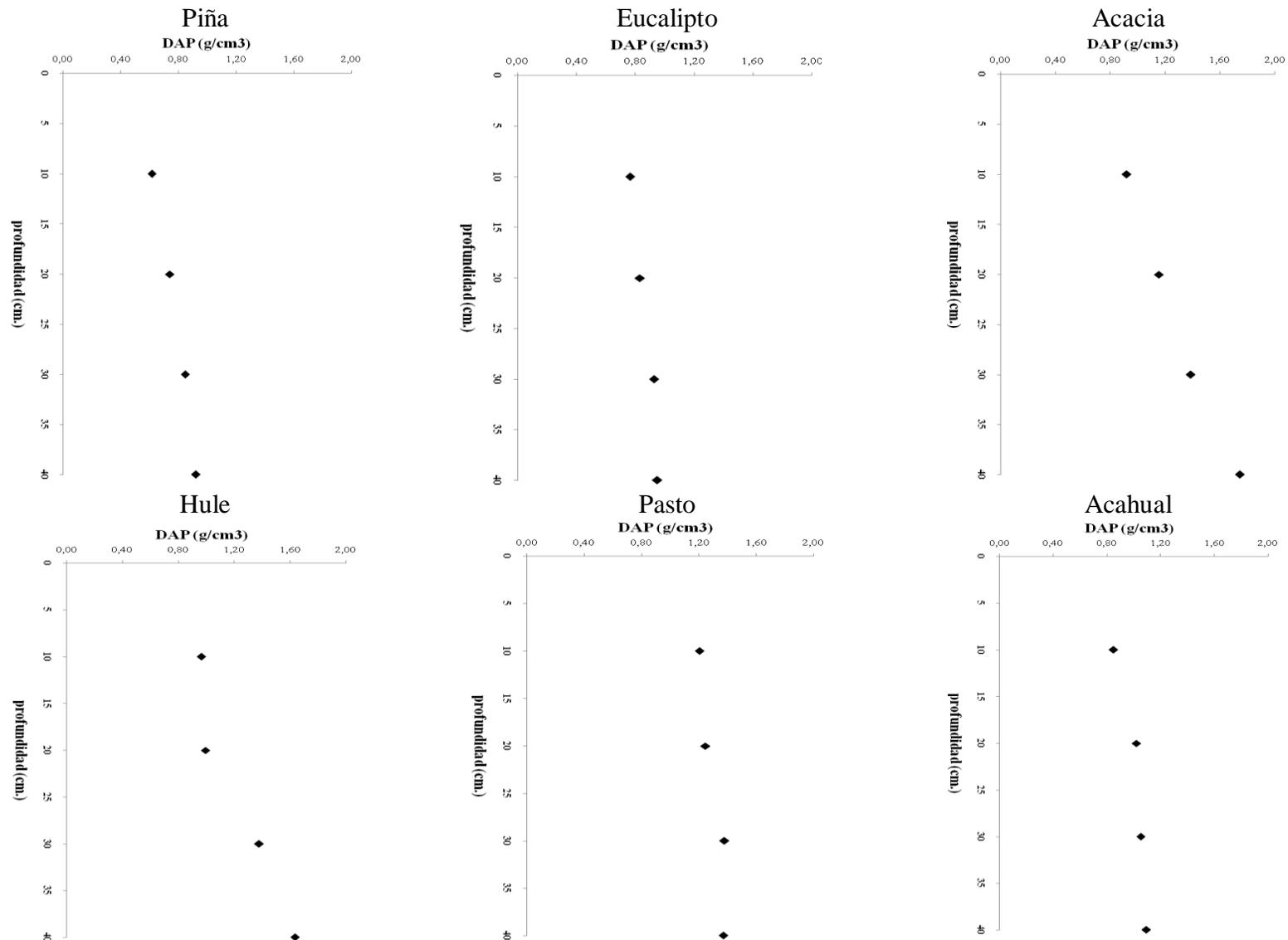


Figura 1.2. Variación de la densidad aparente (Dap; g cm^{-3}) en seis diferentes agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo

En la Figura 1.3 llaman la atención los valores bajos de Dap del agroecosistema piña, estadísticamente diferente respecto a los demás agroecosistemas en las 4 profundidades (con excepción de la de 30-40 cm de eucalipto), aunque pudiera deberse a que en la región de estudio, se incorpora los desechos vegetales después de la cosecha, esto sucede cada 18 meses aproximadamente (Salgado *et al.*, 2010).

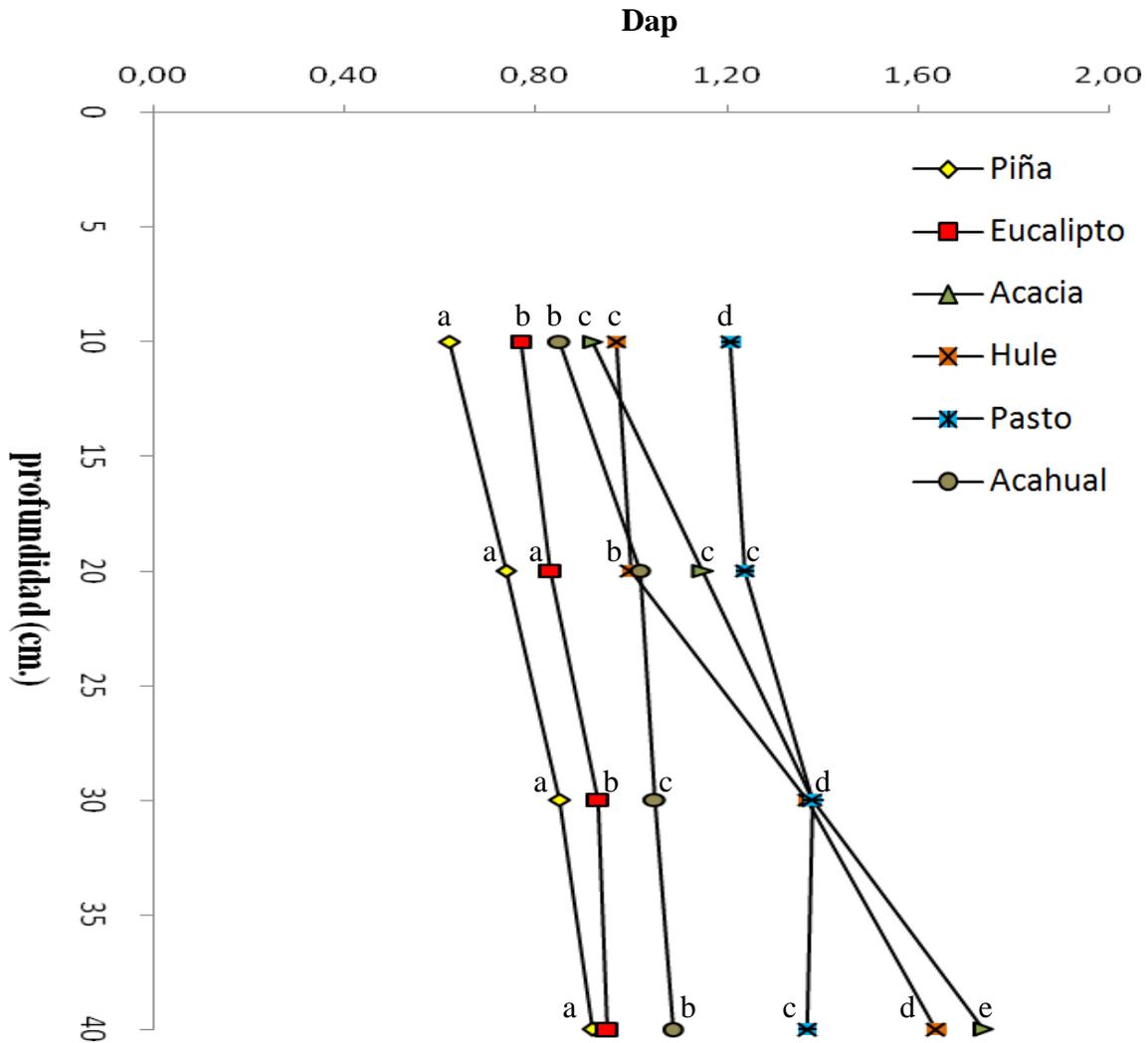


Figura 1.3. Distribución vertical de la densidad aparente (Dap; $g\ cm^{-3}$) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

1.3.2 Contenido y distribución del carbono orgánico total (COT %)

En el (Cuadro 1.3), se presentan los valores medios obtenidos de la variable COT, los cuales presentan diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$); en las profundidades de (la mayoría) de cada agroecosistemas. Las dos primeras fueron diferentes estadísticamente entre sí, excepto el cultivo de eucalipto que presentó valores estadísticamente similares en sus cuatro profundidades. Los valores obtenidos para todos los tratamientos y los diferentes agroecosistemas oscilan entre 2.57 % y 22.06 % (Cuadro 1.3), estos van de bajos a muy altos (NOM-21 RECNAT-2000). Los sistemas acahual y piña resultaron tener valores muy altos de COT; 22.06 y 16.57%, respectivamente, contrastando con los valores medios de hule 6.54% y eucalipto 6.87% para la misma profundidad. Los mayores porcentajes de COT se presentaron en las primeras dos profundidades; 55.7, 65.9, 67.0, 59.2, 62.9, 54.8% que corresponden a los agroecosistemas; piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual respectivamente, siendo las especies arbóreas acacia y eucalipto los de mayor porcentaje. El acahual fue el agroecosistema que mayor cantidad de COT tuvo en todo el perfil con 76.95%, al respecto, Young (1989) indica que la producción forestal tiene la ventaja que, debido a la alta producción de biomasa, se favorece el aumento de carbono orgánico total y los productos de sus transformaciones pueden mejorar algunas propiedades químicas como físicas del suelo; la estructura, permeabilidad y capacidad de retención de agua. La conservación o incremento de la fertilidad física, química o biológica de los suelos está influenciada en gran medida por los aportes de materiales orgánicos, los cuales son una de las principales contribuciones de los sistemas arbolados para el crecimiento y desarrollo de otras especies (Gallardo y Merino 1998; Thevathasan y Gordon, 2004). Aunque no siempre contenidos altos de carbono orgánico indican altos suministro nutrimentales, diversos autores (Eriksson *et al.*, 1992; Vogt *et al.*, 1995, Porta-Casanellas *et al.*, 1999) señalan que los Acrisoles, a pesar de poseer un alto contenido de materia orgánica se caracterizan por tener una baja saturación de cationes básicos y otros nutrimentos poco disponibles. La acidez y la pobreza de nutrimentos asimilables, reduce la capacidad de los microorganismos edáficos para atacar los tejidos vegetales (Vogt *et al.*, 1995; Geissen y Brümer 1999, Skyllberg *et al.*, 2000).

Cuadro 1.3. Valores promedios de carbono orgánico total (COT; %) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	% COT				Pr > f	C.V	DMS
	Profundidad (cm.)						
	0-10	10-20	20-30	30-40			
Piña	16.57a	13.99b	12.10c	12.18c	0.001	5.19	1.33
Eucalipto	6.87a	6.41a	3.70b	3.16b	0.001	6.49	0.61
Acacia	8.66a	5.81b	4.53c	2.57d	0.001	3.88	0.39
Hule	6.54a	4.61b	4.60b	3.09c	0.001	5.02	0.44
Pasto	8.60a	7.83b	4.77c	4.90c	0.001	4.16	0.51
Acahual	22.06a	20.13b	19.21b	15.55c	0.001	3.57	1.29

COT=Carbono orgánico total, Pr>f= probabilidad calculada, C.V= coeficiente de variación y DMS= diferencia mínima significativa. El ANOVA se realizó contrastando la profundidad de cada agroecosistema, Cada uno tuvo cinco repeticiones. Letras diferentes en hileras indican diferencias estadísticas, (Tukey 0.05.)

En la (Figura 1.4), se muestra el comportamiento del COT en profundidad, de manera general todos tuvieron disminuciones poco abruptas, aunque en todos los casos, altamente significativas entre la primera (0-10 cm) y la última (30-40 cm). El agroecosistema acacia presentó, la caída más pronunciada disminuyó de 8.66% (100%) hasta 2.57 (29.7%). La distribución vertical de la materia orgánica está altamente relacionada con el aporte de hojarasca por lo que los componentes de la M.O. se presentan en cantidades importantes sólo en el primer horizonte, mostrando que el aporte de ésta, es más alto que el que pueden tener las propias raíces. Aquellos parámetros edáficos que mayor relación presentan con la materia orgánica se espera tengan un comportamiento espacial (horizontal y verticalmente) similar a la M.O (Fassbender y Bornemisza 1987; Dahlgren *et al.*, 1997; Amatya *et al.*, 2002; Chang *et al.*, 2002; Rutigliano *et al.*, 2004).

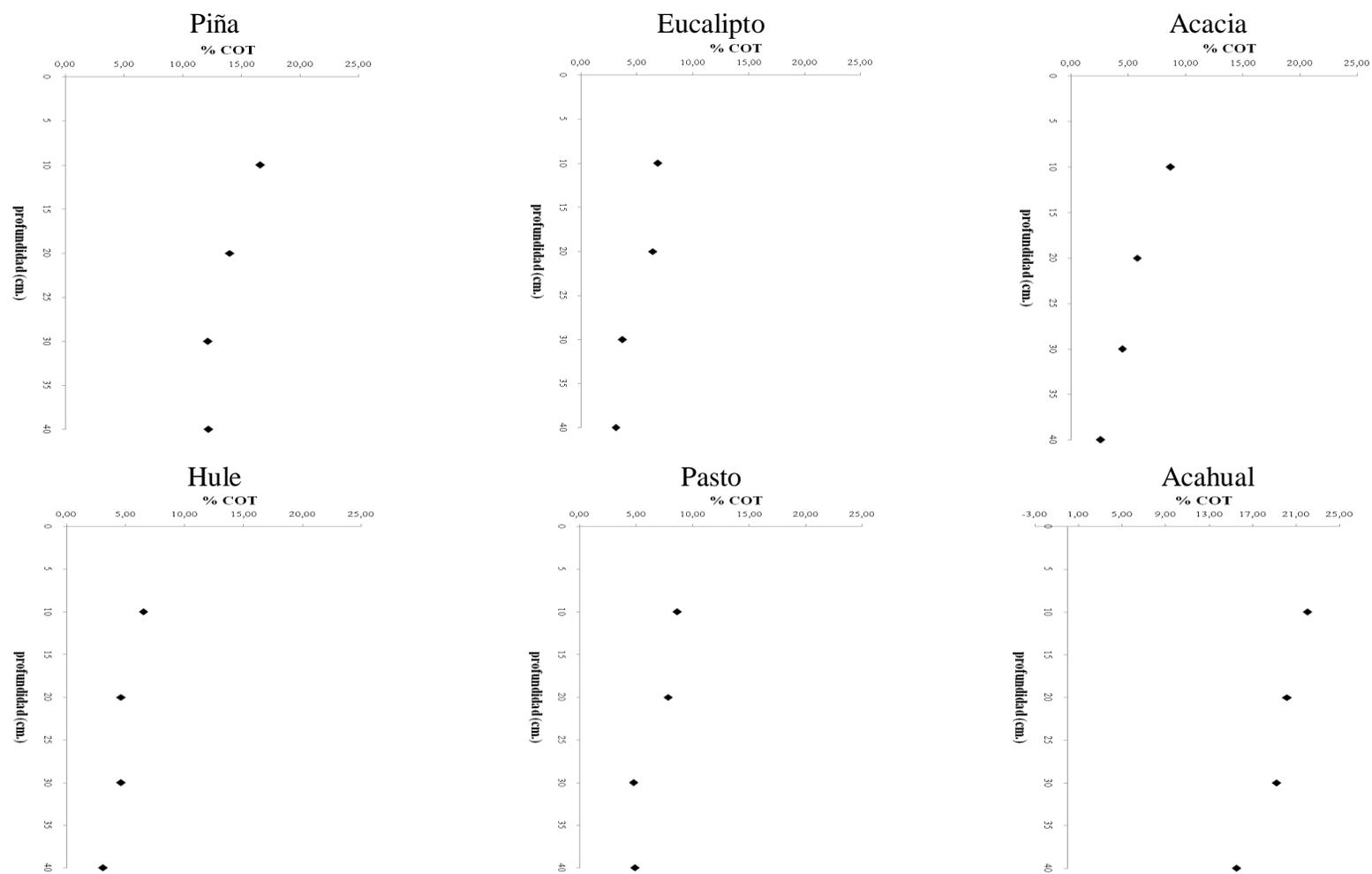


Figura 1.4. Contenido y distribución del carbono orgánico total en seis diferentes agroecosistemas

La comparación del contenido del carbono orgánico total por cada profundidad de los diferentes agroecosistemas, se muestra en la (Figura 1.5). El análisis estadísticos (ANOVA), mostró diferencias altamente significativas, el agroecosistema acahual presentó mayor contenido de COT, los materiales orgánicos en vegetación secundaria tienden a tener una alta relación carbono nitrógeno condicionado por la variedad y cantidad de plantas de diferentes especies y por ser un sistema poco perturbado (Etchevers *et al.*, 2006). Con respecto al agroecosistema piña, su alto contenido de COT se puede deber a que, antes de establecer el cultivo, los residuos de la cosecha anterior se incorporan al suelo por medio del uso de maquinarias (cada 18 meses).

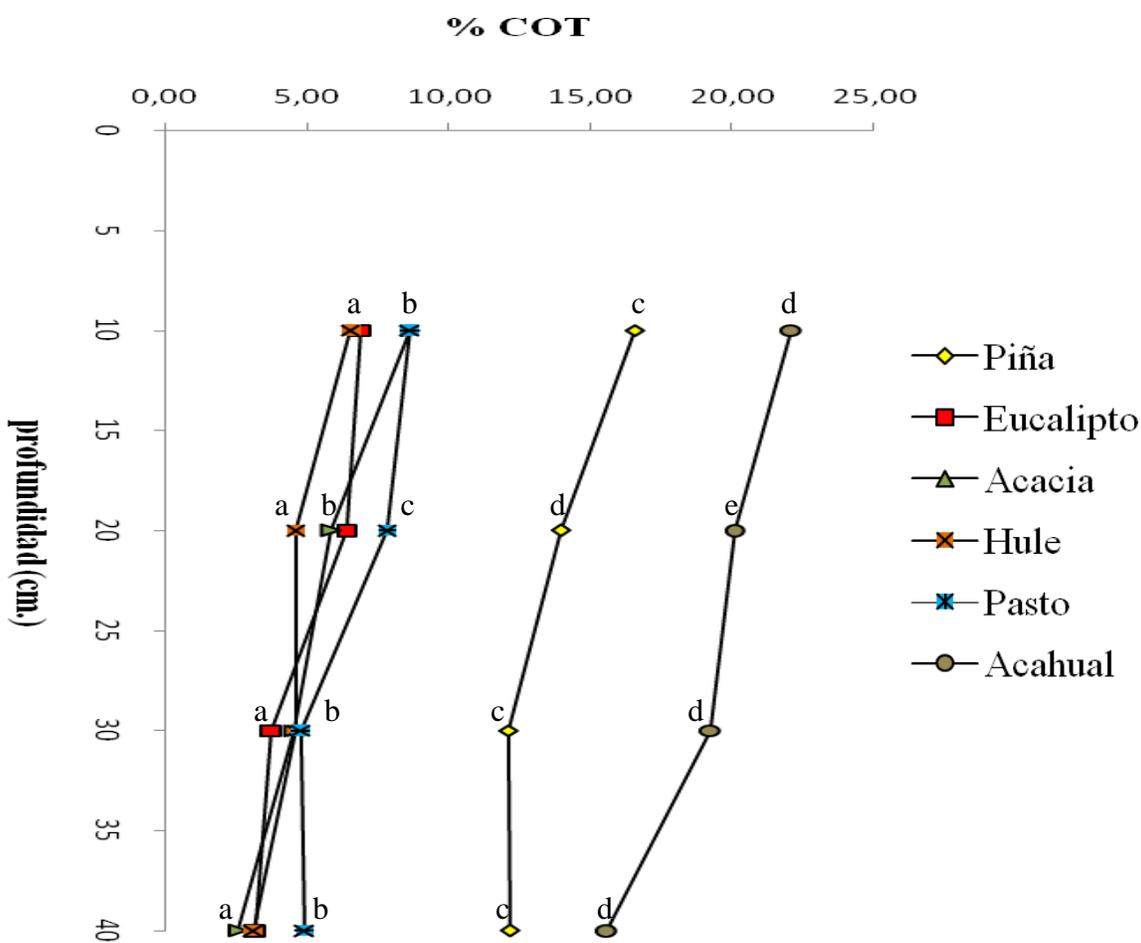


Figura 1.5. Distribución vertical del carbono orgánico total (%) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México

1.3.3 Contenido y distribución del Nitrógeno total % (Nt)

El contenido de este Nt en los diferentes agroecosistemas y profundidades presentó valores entre 0.17 y 0.49% los cuales se encuentran en el intervalo de medios a muy altos (NOM-21 RECNAT-2000). Presentándose el mayor número de casos en el intervalo muy alto (60%). Los valores promedios de Nt (%) en los diferentes tratamientos y agroecosistemas se presentan en el (Cuadro 1.4). El ANOVA mostró diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.001$) en la comparación de profundidades de cada agroecosistema. En la profundidad 0-10 cm, el valor más bajo fue de 0.17 % que corresponde a los agroecosistemas hule y pasto, y el valor más alto fue de 0.49 % corresponde al agroecosistema acahual. Cabe señalar que los suelos con más contenido de Nt fueron los de piña (1.47%) y acahual (1.78%), seguidos por los agroecosistemas, eucalipto, acacia, hule y pasto (0.99, 0.88, 0.77, 0.65%; respectivamente). Resultados similares reporta Gutiérrez, (2003), para suelos ácidos de Costa Rica, en plantaciones forestales (profundidad 0-10 cm), con valores que van de 0.22 a 0.57 % de nitrógeno total. Por otra parte Martínez, (2005), encontró mayores contenidos de Nt en agroecosistemas en plantaciones arbóreas que en pastizales, indicando que las diferencias se deben a la mayor humedad y a la sombra de los arboles (micrositio). Diversos autores (Wright y Hons 2005, Cambardella y Elliott 1994, y Simpson *et al.*, 2004), señalan que una alta concentración de Nt en el suelo corresponde al efecto de acumulación de la materia orgánica que además de estar favorecida por aportes constantes de biomasa aérea y radical de cultivos y plantaciones, puede estarlo, por el manejo (labranza de conservación, cultivos de cobertera, rotación, etc.) o bien por baja mineralización condicionada por factores ambientales (pH del suelo, sitios inundados, suelos salinos, temperatura, etc.). El contenido de nitrógeno se relaciona con el contenido de la materia orgánica del suelo, dependiendo su suministro de la calidad de los componentes orgánicos (relación C/N), de sus tasas de mineralización y de condicionantes ambientales (Guerrero, 1993).

Cuadro 1.4. Valores promedios de nitrógeno total (Nt; %) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	% Nt				Pr > f	C.V	DMS
	Profundidad (cm.)						
	0-10	10-20	20-30	30-40			
Piña	0.45a	0.45a	0.34b	0.23c	0.001	5.89	0.041
Eucalipto	0.24a	0.25a	0.29b	0.21c	0.001	4.59	0.021
Acacia	0.26a	0.17b	0.25a	0.20c	0.001	2.96	0.012
Hule	0.17a	0.17a	0.24b	0.19c	0.001	1.93	0.007
Pasto	0.17a	0.17ab	0.16b	0.15c	0.001	2.02	0.006
Achual	0.49a	0.47b	0.46b	0.36c	0.001	1.23	0.010

Nt= Nitrógeno total, **Pr>f**= probabilidad calculada, **C.V**= coeficiente de variación y **DMS**= diferencia mínima significativa. El ANOVA se realizó contrastando la profundidad de cada agroecosistema, Cada uno tuvo cinco repeticiones. Letras diferentes indican diferencias estadísticas, (Tukey 0.05)

En la Figura 1.6 se muestra el comportamiento de los contenidos de Nt en las profundidades de suelos estudiadas, se observa que el agroecosistema que presentó la mayor caída de los contenidos entre la primera y última profundidad, fue piña (casi 50%). Éstos fueron mayor para casi todos los agroecosistemas (en cuatro estadísticamente igual a la segunda profundidad), lo que es indicativo de una mayor actividad microbiana en la superficie, aunque no necesariamente de una mayor disponibilidad de N, su suministro depende principalmente de la mineralización de la materia orgánica, donde se encuentra más de un 95% del nitrógeno total del suelo. Ese proceso es realizado por los microorganismos, cuya actividad está influenciada por gran cantidad de factores ambientales, lo que explica porque basarse en extracciones de Nt no resultan confiables para diagnosticar la necesidad de fertilizantes nitrogenados para los cultivos y es la razón, de que se busquen métodos de análisis que permitan imitar ese proceso, surgiendo con ese propósito las técnicas que evalúan la velocidad de mineralización (Sánchez, 1976; SSLS, 1992) y estiman los compuestos nitrogenados disponibles para las plantas (NH_4^+ , NO_3^- y NO_2^-).

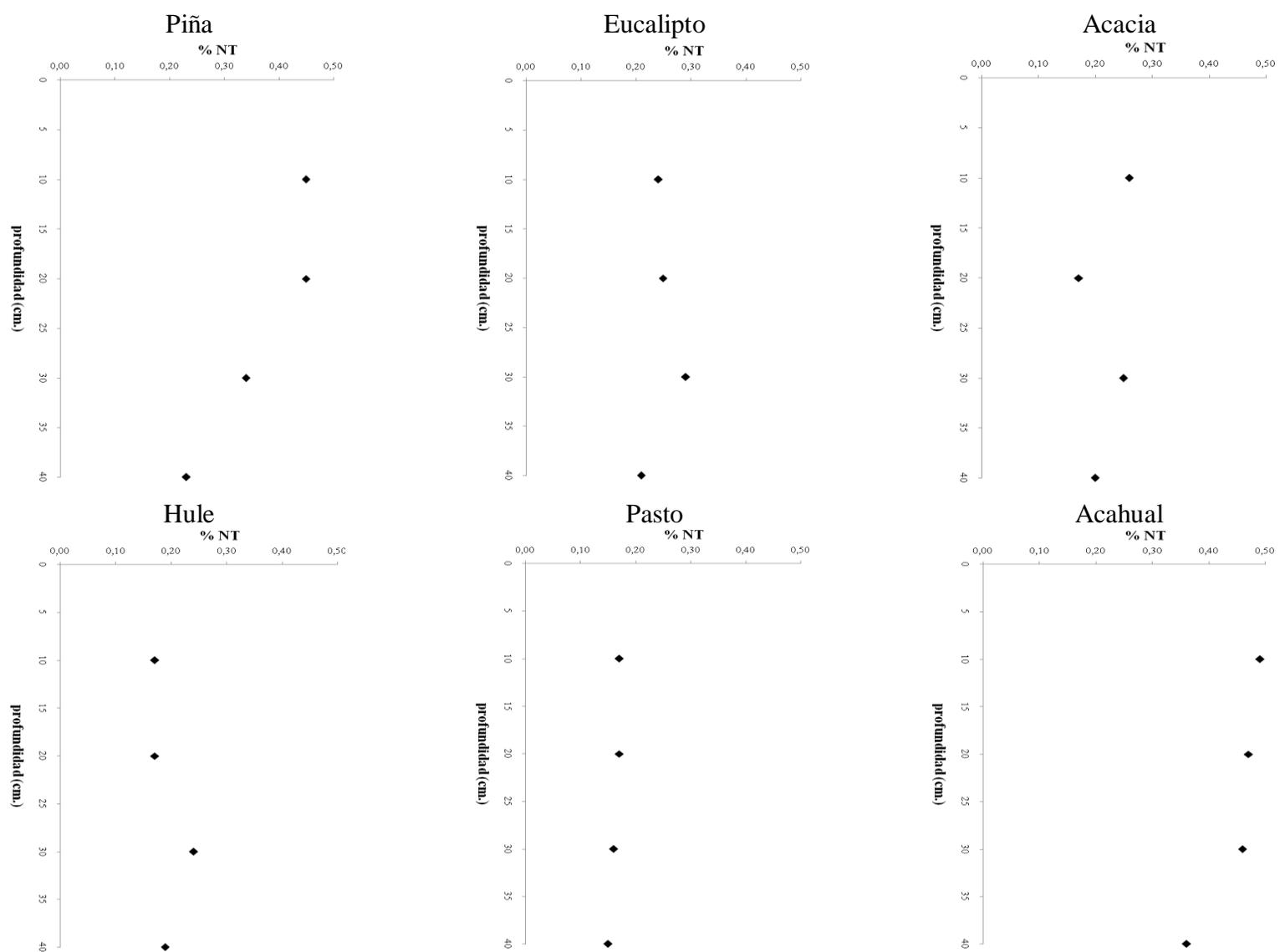


Figura 1.6. Contenido y distribución del carbono orgánico total en seis diferentes agroecosistemas

La (Figura 1.7), muestra el comportamiento del Nt en las profundidades estudiadas, los agroecosistemas acahual y piña mostraron diferencias altamente significativas con los otros agroecosistemas en casi todas las profundidades, excepto la última para piña, llama poderosamente la atención la disminución abrupta en las concentraciones de Nt de los suelos de este cultivo, esto puede estar relacionado con la calidad de los materiales orgánicos, la cual tiene diferentes grados de labilidad y está en función de la relación C/N (Sierra y Rodríguez. 1986). Los residuos ricos en sustancias fácilmente degradables, con suficientes cantidades de nitrógeno y otros nutrientes esenciales, se degradarán fácil y rápidamente. En cambio, residuos ricos en lignina, como los leñosos, o en ceras, grasas, pigmentos y resinas, serán más problemáticos, por la mayor complejidad estructural de estos compuestos y por la acción tóxica de algunos de ellos. Del mismo modo, restos de gran tamaño o excesivamente secos darán lugar a una lenta descomposición por no favorecer el ataque de los microorganismos (Entry *et al.*, 2002).

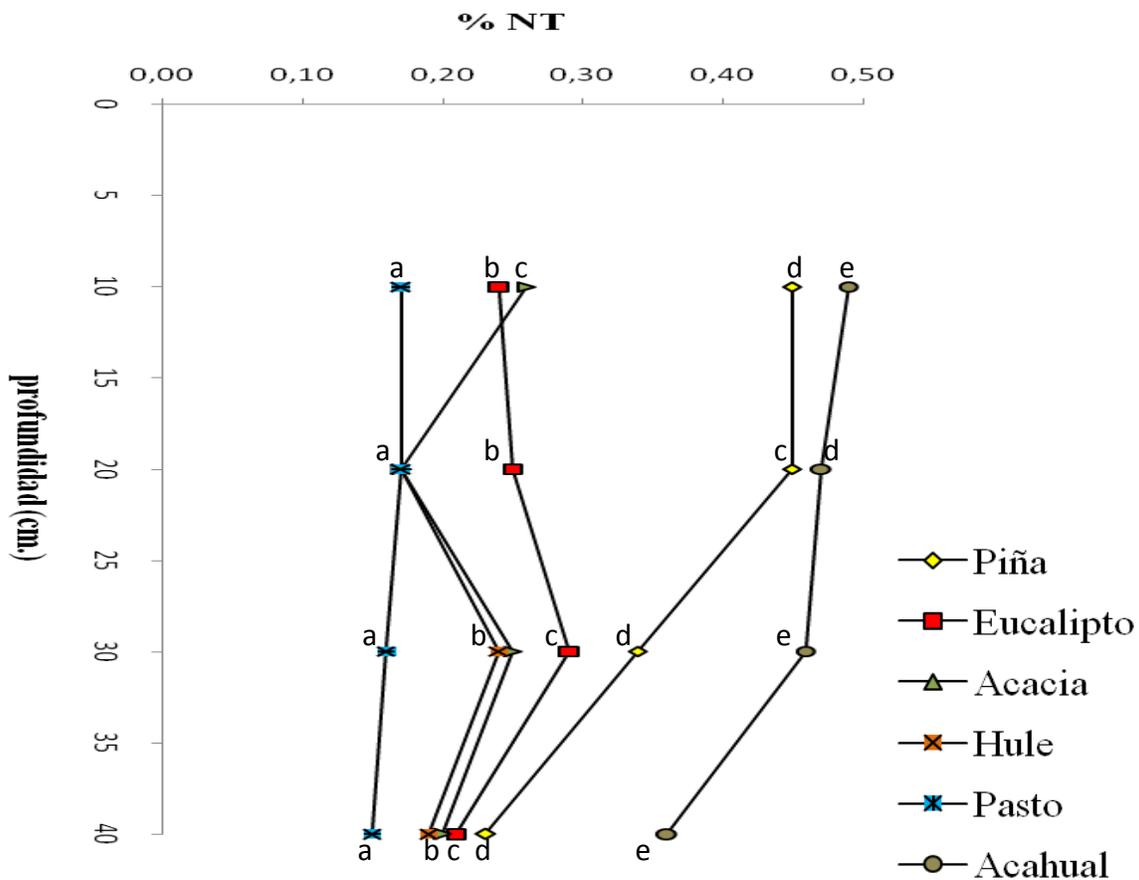


Figura 1.7. Distribución vertical del Nitrógeno total (Nt; %) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

1.3.4 Relación carbono nitrógeno (C/N)

Con respecto a la relación C/N del suelo, en los diferentes agroecosistemas estudiados los valores promedios de las cuatro profundidades fueron 43.46, 23.67, 29.12, 28.59, 36.82, 71.36%, para piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual, respectivamente. La variación en los valores es un indicativo de las diferencias de los materiales que cada uno de los agroecosistemas aportan al suelo, La relación C/N de eucalipto se infiere permite una mejor liberación de N disponible, La relación C/N y la relación lignina/celulosa de los residuos vegetales tiene mucha influencia en la velocidad de descomposición del material vegetal (Wild 1972; Swift *et al.*, 1979). El cambio de un suelo a dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de N depende principalmente de esta relación. En forma general, una relación C/N baja tiende a favorecer la mineralización, en tanto que relaciones mayores de 25 conducen a una lenta mineralización o bien a la inmovilización del N (Bertsch, 1995). Sin embargo ya descompuesta la biomasa en el suelo relaciones C/N edáfica menores a 15 son indicativos de un suelo bastante humificado. En el Cuadro 1.5 se presentan los valores promedios y las diferencias estadísticas que presentó cada uno de los agroecosistemas en sus diferentes profundidades, se observa que de los seis agroecosistemas, piña y acahual presentan una muy baja humificación de sus materiales en todas las profundidades. Probablemente se deba a que sus residuos tienen gran cantidad de ligninas las cuales son altamente resistentes, con bajas concentraciones de N lo cual limita el ataque de la biomasa microbiana del suelo (Alexander, 1997). Las especies arbóreas por el contrario presentaron una muy buena humificación sobre todo conforme incremento la profundidad (Figura 1.8), según los estándares de Moreno (1978), estos agroecosistemas mantienen una baja relación C/N y por lo tanto una tasa de mineralización alta. Jenkinson (1992), señala que la relación C/N tiende a disminuir conforme incrementa la profundidad, lo cual es indicativo también de sistemas maduros en los cuales la disponibilidad de N es mayor.

Cuadro 1.5. Valores promedios de Relación C/N nitrógeno en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	C/N				Pr > f	C.V	DMS
	Profundidad (cm.)						
	0-10	10-20	20-30	30-40			
Piña	36.59a	35.59b	43.75c	57.92d	0.001	0.83	0.679
Eucalipto	32.78a	36.14b	13.15c	12.61c	0.001	2.45	1.092
Acacia	46.97a	40.75b	17.11c	11.64d	0.001	2.28	1.247
Hule	44.21a	37.69b	20.82c	11.62d	0.001	2.78	1.494
Pasto	47.00a	55.58b	21.33c	23.37c	0.001	2.17	1.503
Acahual	51.04a	56.18b	79.13c	99.09d	0.001	0.95	1.275

C/N= Relación carbono nitrógeno, Pr>f= probabilidad calculada, C.V= coeficiente de variación y DMS= diferencia mínima significativa. El ANOVA se realizó contrastando la profundidad de cada agroecosistema, Cada uno tuvo cinco repeticiones. Letras diferentes indican diferencias estadísticas, (Tukey 0.05.)

La comparación de la relación carbono-nitrógeno entre los diferentes agroecosistemas se muestra en la (Figura 1.9). El análisis estadísticos (ANOVA), mostró diferencias altamente significativas entre ellos, los agroecosistemas acahual y piña mostraron en las dos últimas profundidades incrementos en su relación C/N y se diferenciaron de forma más marcada con los otros agroecosistemas. Como se ha comentado con anterioridad, el proceso de descomposición de los residuos orgánicos depende del ambiente edáfico (pH, aireación y disponibilidad de nutrientes, etc.), de la calidad de los residuos (composición química, relación carbono-nitrógeno, contenido de lignina etc.) y de factores ambientales (temperatura, humedad, etc.), estos factores condicionan la actividad de la biomasa microbiana pero también la de la macrofauna (Schjonning *et al.*, 1999; Kruse *et al.*, 2004). No obstante dado que el estudio se realizó en condiciones similares es muy probable que las diferencias estén relacionadas principalmente por el tipo de residuos.

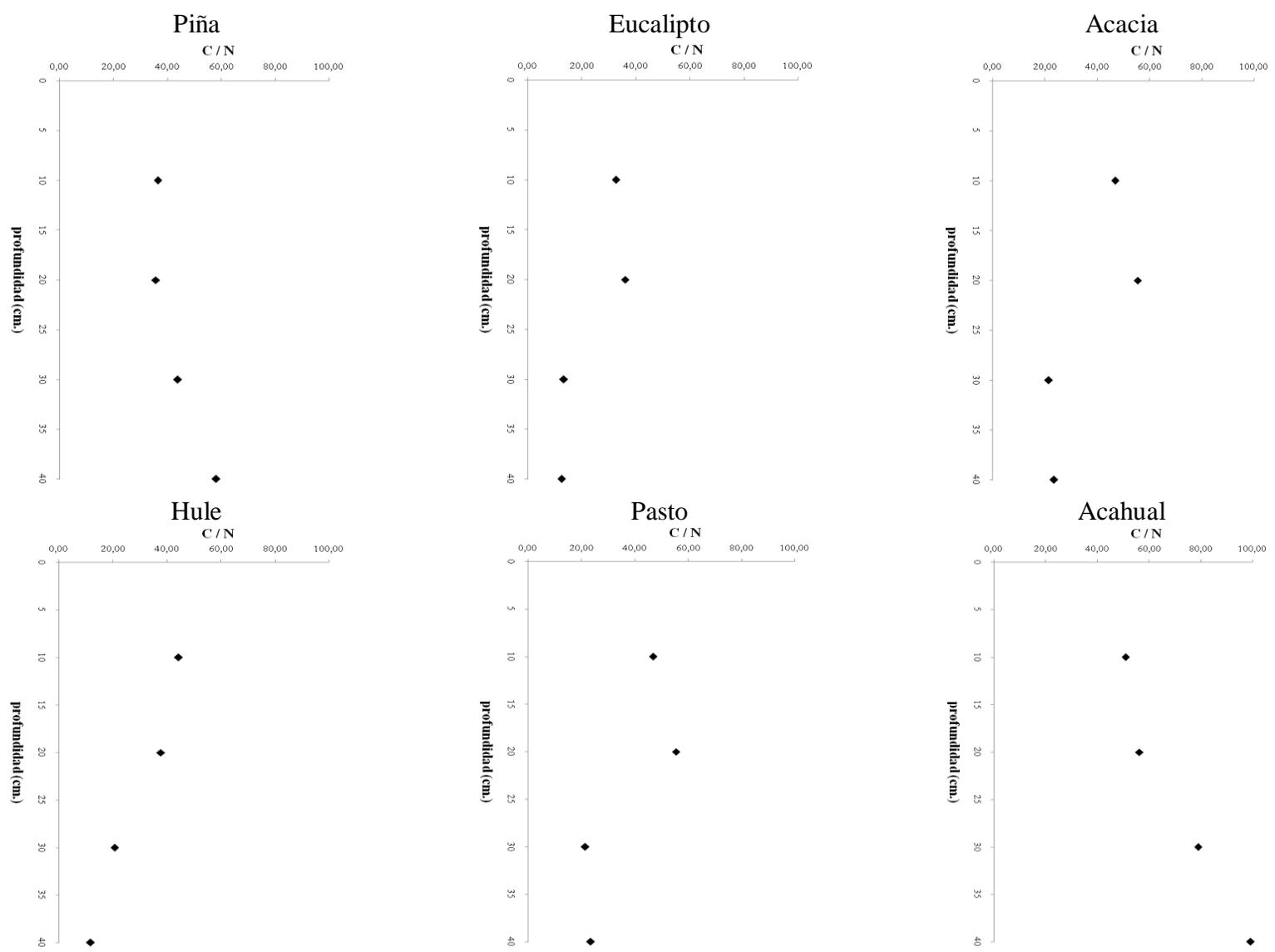


Figura 1.8. Relación carbono-nitrógeno en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

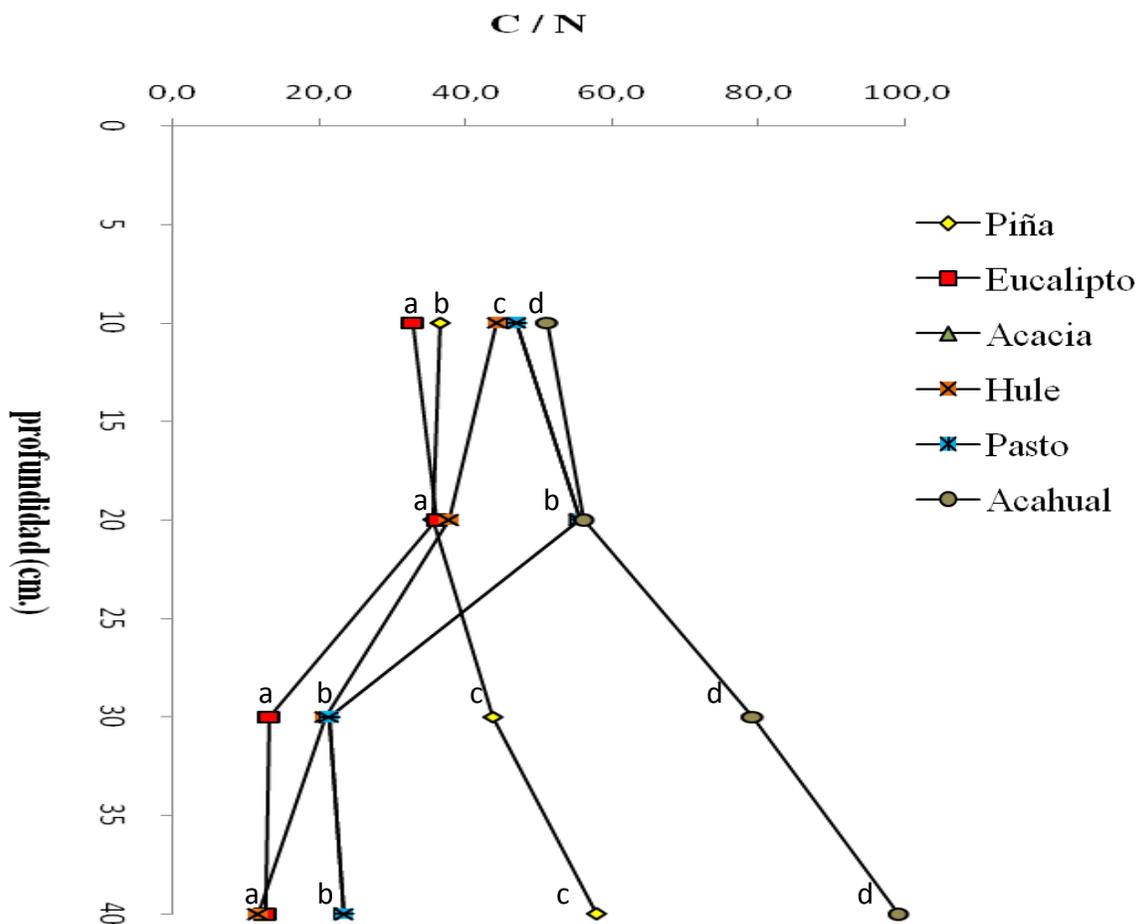


Figura 1.9. Distribución vertical de la relación (C/N) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

1.3.5 Contenido y distribución del Carbono orgánico soluble (COS)

Los promedios de los contenidos de COS y su análisis estadístico se presentan en el (Cuadro 1.6), en él se observan que hay diferencias altamente significativas entre las profundidades de cada agroecosistemas. Los porcentajes mayores lo mostró el agroecosistema piña en las dos primeras profundidades (0-10 y 0-20 cm), los más bajos se observan en el agroecosistema acahual en las cuatro profundidades. Si bien es cierto que en condiciones tropicales, es común que la descomposición de los residuos de la biomasa de la mayoría de las especies sea rápida y, la dinámica de la liberación de nutrientes alta (Hartemink, 2003). También lo es, que la concentración de carbono orgánico soluble en los suelos, tiene una relación directa y proporcional con la fracción de los materiales de fácil

descomposición que posee la materia orgánica del suelo y que ésta, tiene estructuras le confiere diferente posibilidad de favorecer los contenidos de COS (Alejo 2007). Un buen ejemplo es el agroecosistema acahual fue el que más materia orgánica tuvo en las profundidades estudiadas y fue el que menos contenido de COS registró.

Cuadro 1.6. Porcentaje de carbono orgánico soluble (COS) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	% COS				Pr > f	C.V	DMS
	Profundidad (cm.)						
	0-10	10-20	20-30	30-40			
Piña	1.79a	1.82a	0.57b	0.47c	0.001	2.81	0.061
Eucalipto	1.33a	1.31b	0.79c	0.65d	0.001	0.99	0.019
Acacia	1.54a	1.46b	0.36c	0.32d	0.001	0.90	0.015
Hule	1.42a	1.31b	0.77c	0.75c	0.001	0.38	0.007
Pasto	1.24a	1.37b	0.63c	0.57d	0.001	1.25	0.022
Acahual	0.53a	0.49b	0.47c	0.46c	0.001	1.04	0.009

COS= Carbono orgánico soluble, Pr>f= probabilidad calculada, C.V= coeficiente de variación y DMS= diferencia mínima significativa. El ANOVA se realizó contrastando la profundidad de cada agroecosistema, Cada uno tuvo cinco repeticiones. Letras diferentes indican diferencias estadísticas, (Tukey 0.05).

Las profundidades donde se registró el mayor contenido de COS fueron (0-10 y 10-20 cm), mostrando conforme se incrementa la profundidad (Figura 1.10) una disminución progresiva, en los seis agroecosistemas en estudio. Este comportamiento se sucede debido a la dinámica de la de la mineralización de la materia orgánica, la cual disminuye conforme lo hace la profundidad en el suelo. El COS favorece la fertilidad de los suelos dado que forma complejos de diferente fuerza, jugando un papel fundamental en la movilización, inmovilización y transporte de nutrientes; además de que interactúa intensivamente con las superficies minerales alterando positivamente sus características (Sanders y McGrath, 1988; Calace *et al.*, 2001) y está estrechamente asociado con las tendencias de mineralización del nitrógeno y con las formas lábiles de la materia orgánica del suelo, por lo que puede constituir un estimador del potencial de nitrógeno (Galvis y Etchevers, 1996; Alejo, 2007).

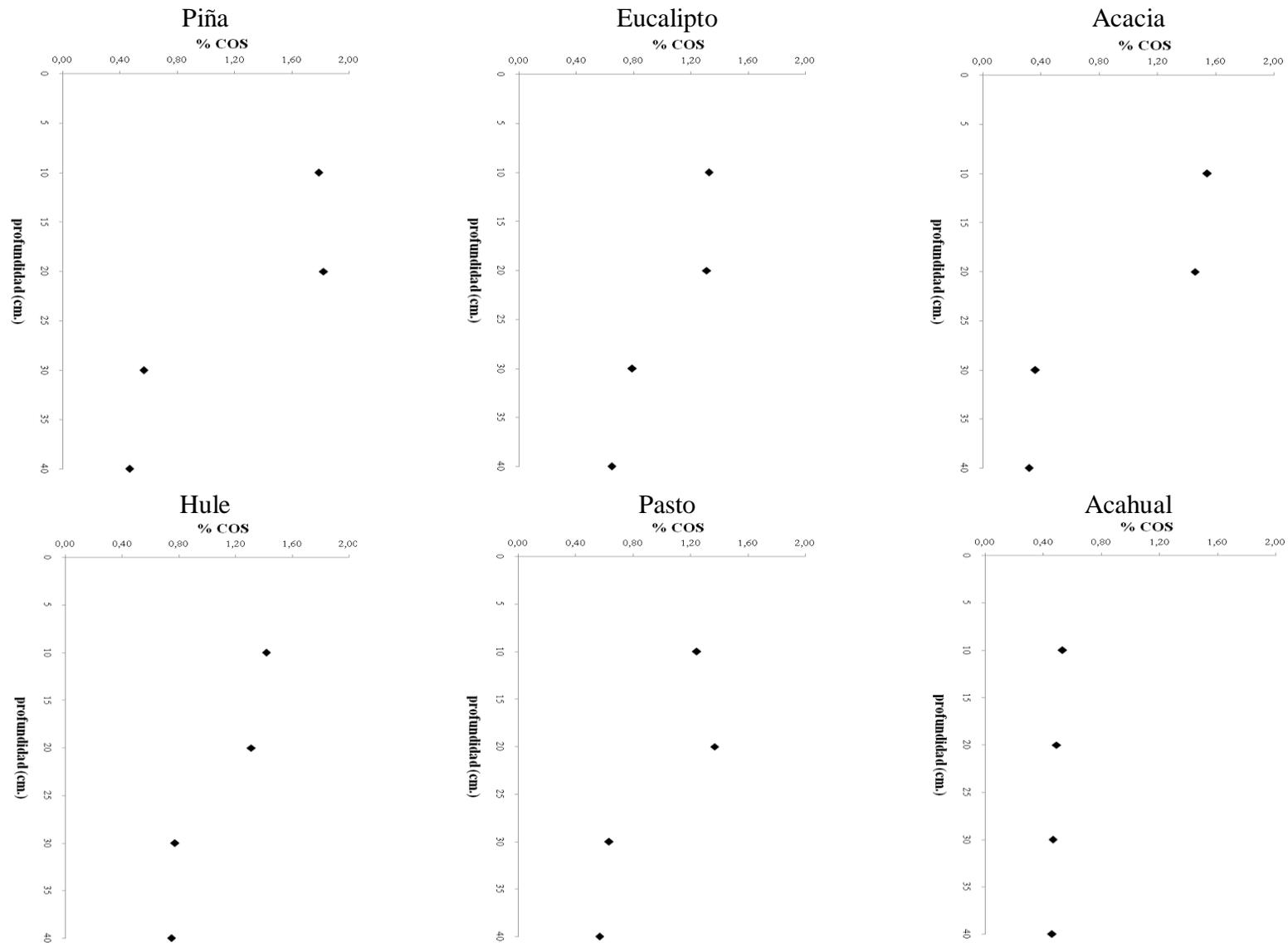


Figura 1.10. Porcentaje COS en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco

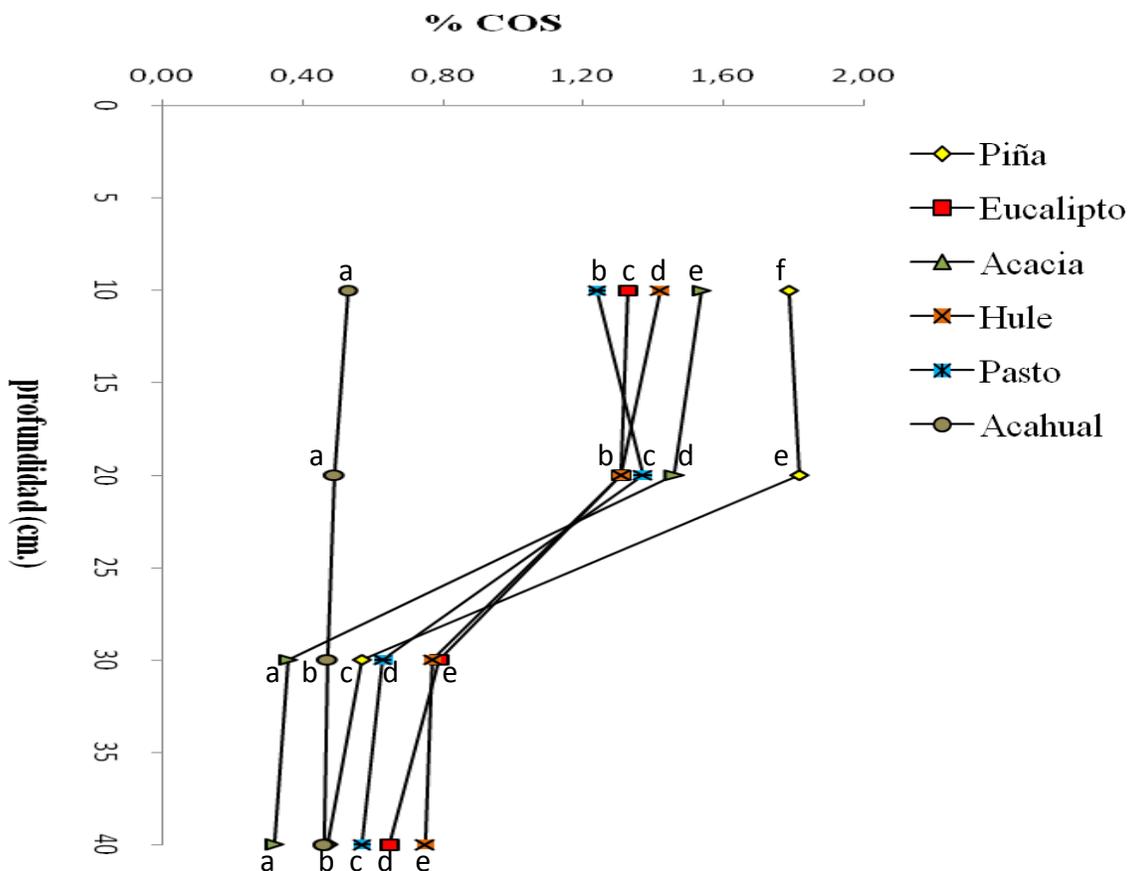


Figura 1.11. Distribución vertical del carbono orgánico soluble (COS %) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

1.3.6 Índice óptico (IO)

El índice óptico, esta es una variable de absorbancia que indica el grado de madurez y calidad de la materia orgánica del suelo. Al analizar su comportamiento estadístico (Cuadro 1.7), se observa que hay diferencias significativas entre las diferentes profundidades de cada agroecosistemas. Los valores aumentaron conforme avanza la profundidad del perfil, registrándose los más altos por lo general en las dos últimas profundidades de los suelos de cada agroecosistemas. Los resultados más bajos menores de 9 relación E4/E6, son para los agroecosistemas acacia, piña, hule y eucalipto, lo que indica que existen tamaños moleculares grandes y un alto grado de condensación de los constituyentes orgánicos. La interpretación de esta relación indica que valores bajos de la misma, implican un alto grado

de aromaticidad, en tanto que valores altos indican un mayor contenido de cadenas alifáticas. Al respecto, Chen *et al.* (1977), señalaron que esta relación presenta una alta correlación con el contenido de radicales libres, O, C y COOH, la acidez total y el peso molecular del material.

Cuadro 1.7. Índice óptico (IO) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	IO				Pr > f	C.V	DMS
	Profundidad (cm.)						
	0-10	10-20	20-30	30-40			
Piña	8.83a	11.62b	15.27c	17.58d	0.001	2.06	0.517
Eucalipto	8.13a	9.68b	10.72c	17.18d	0.001	3.74	0.803
Acacia	9.69a	12.25b	13.48c	19.47d	0.001	0.62	0.161
Hule	8.56a	7.78b	14.55c	21.39d	0.001	1.88	0.461
Pasto	11.74a	10.89b	20.15c	26.05d	0.001	0.82	0.266
Achual	19.80a	34.57b	29.40c	26.39d	0.001	2.05	1.064

IO= Índice óptico, Pr>f= probabilidad calculada, C.V= coeficiente de variación y DMS= diferencia mínima significativa. El ANOVA se realizó contrastando la profundidad de cada agroecosistema, Cada uno tuvo cinco repeticiones. Letras diferentes indican diferencias estadísticas, (Tukey 0.05).

En la (Figura 1.12), se muestra la dinámica del índice óptico en las diferentes profundidades, se observa que de los parámetros estudiados, éste, contrasta con más claridad dejando de manifiesto las diferencias en profundidad, en todos los casos hubo diferencias estadísticas significativas incrementando los valores conforme profundidad. El agroecosistema achual registró los mayores valores de absorbancia en los cuatro tratamientos con un (Promedio=27, C.V=2.05), no obstante presentó un comportamiento diferente al de los otros, ya que las profundidades intermedias (10-20 y 20-30 cm) fueron mayores a la última.

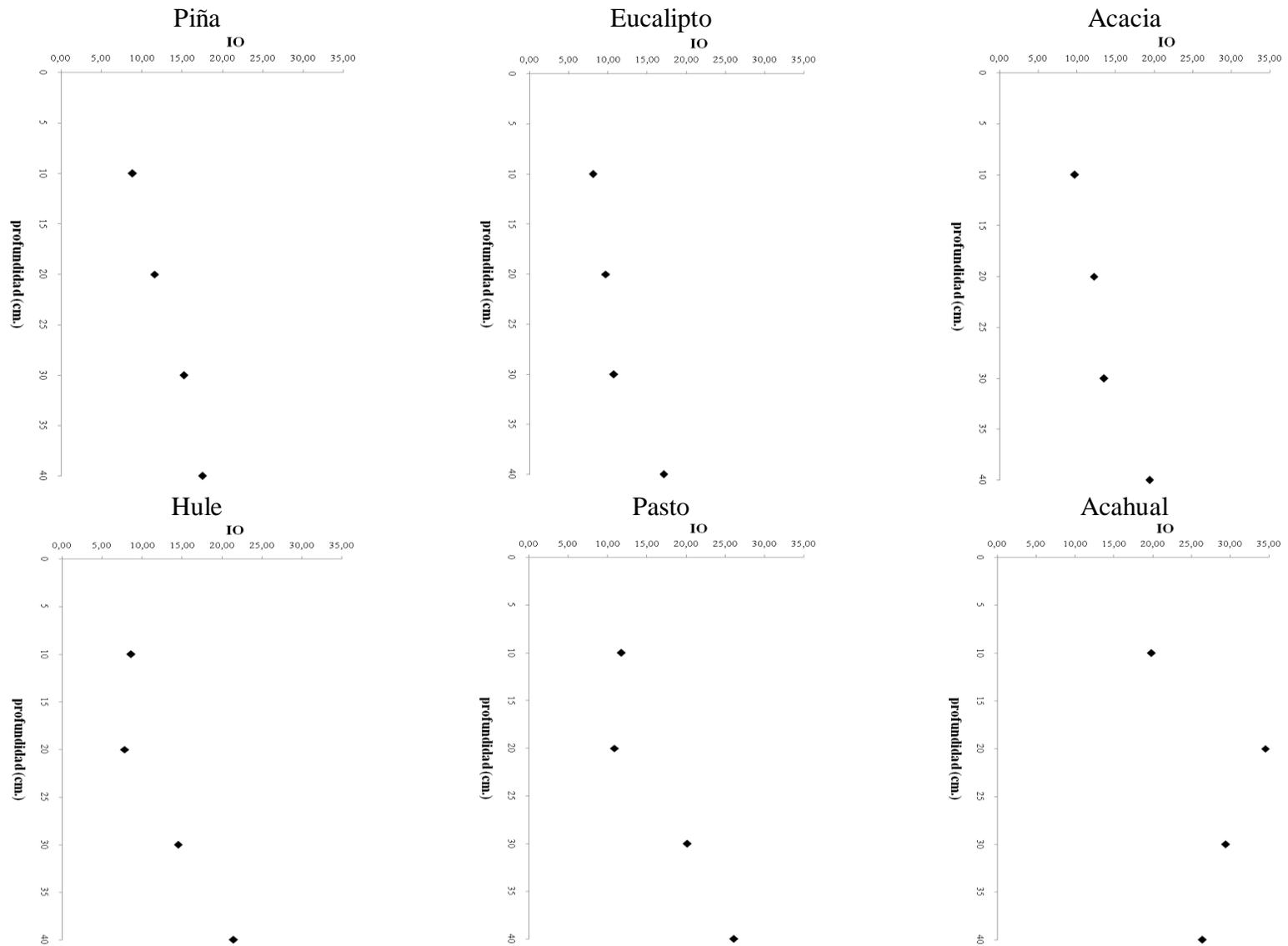


Figura 1.12. Índice óptico de la materia orgánica del suelo en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

La Figura 1.13 muestra las comparaciones del índice óptico por profundidad en los agroecosistemas estudiados. Los mayores valores de absorbancia lo presentaron los agroecosistemas acahual y pasto presentando diferencias estadísticas con los otros. Los valores de las absorbancia de las densidades ópticas a 465 nm (E4) y 665nm (E6); se utiliza para la caracterización de la materia orgánica y de los ácido húmicos, siendo también considerada como un índice de humificación de la materia orgánica (Kumada y Sato, 1980). Chen *et al.*, (1977), observaron que la relación E4/E6 esta inversamente relacionado con el tamaño, peso molecular y grado de asociación entre las moléculas de las sustancias húmicas, pudiendo considerarse como un indicador del grado de complejidad.

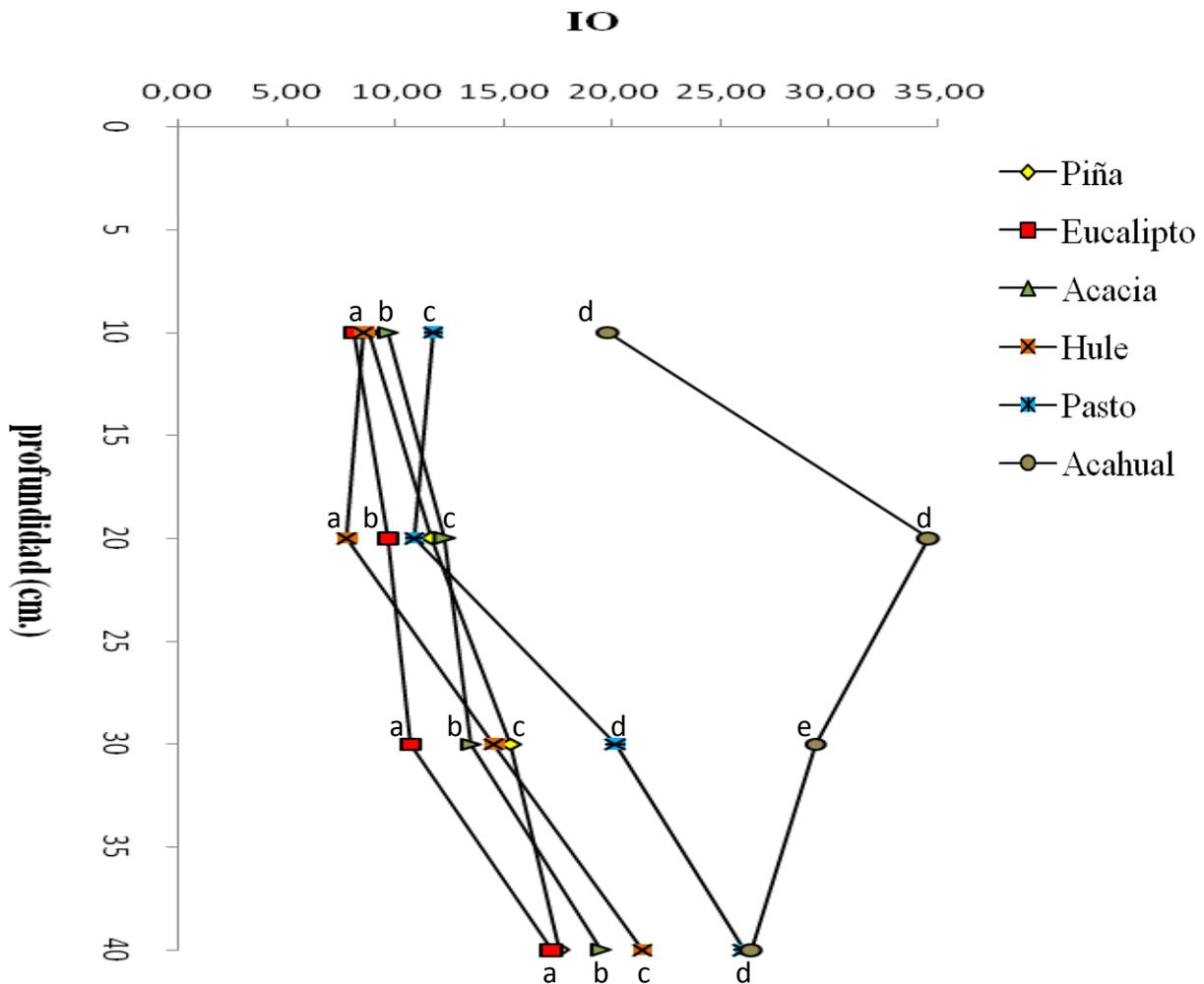


Figura 1.13. Índice óptico de la materia orgánica del suelo en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

1.4 CONCLUSIONES

La densidad aparente fue mayor para el agroecosistema pasto lo cual está relacionado a el efecto del pisoteo del ganado y en concordancia con estudios similares (Greenwood y McKenzie, 2001; Jaramillo *et al.*, 2010). Los valores de Dap en suelos fueron disminuyendo conforme incremento la profundidad en todos los agroecosistemas.

Los sistemas acahual y piña resultaron tener valores muy altos de COT; 22.06 y 16.57%, respectivamente (diferencias estadísticas), contrastando con los valores medios de hule 6.54% y eucalipto 6.87% para la misma profundidad. Los mayores porcentajes de COT se presentaron en las primeras dos profundidades, porcentualmente; piña, 55.7; eucalipto, 65.9; acacia; 67.0; hule, 59.2; pasto, 62.9; y acahual, 54.8.

El contenido de Nt (fue mayor para acahual y piña) en los diferentes agroecosistemas y profundidades presentó valores entre 0.17 y 0.49% los cuales se encuentran en el intervalo de medios a muy altos (NOM-21 RECNAT-2000). Presentándose el mayor número de casos en el intervalo muy alto (60%). Los valores de este parámetro disminuyeron conforme incremento la profundidad de los suelos, siendo piña el que presentó la mayor caída de contenidos Nt disminuyendo entre la primera y última profundidad 50%.

Los contenidos de carbono orgánico soluble (COS) fueron más altos en los suelos de piña y acacia presentando diferencias estadísticas con los otros, el agroecosistema acahual, a pesar de tener el mayor contenido de materia orgánica y de nitrógeno, fue el que menor concentración de carbono orgánico soluble tuvo, lo cual está relacionado con sus altas relaciones de C/N (promedio 71.86%). El índice óptico (IO), fue mayor estadísticamente en los agroecosistemas acahual y pasto (promedio 27.54 y 17.20 respectivamente), mostrando diferencias estadísticas con los otros, estos valores bajos indican que en estos cuatro agroecosistemas existe un alto grado de aromaticidad, es decir materiales más fácilmente soluble.

1.5 LITERATURA CITADA

- Aguilera S. M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 85.
- Alejo S. G. 2007. El carbono soluble como indicador de calidad química de materia orgánica. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Montecillo Edo de México. 103 p.
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2° Edition. John Wiley and Sons. New York. N.Y.
- Amatya, G., Chang, S. X., Beare, M. H. and Mead, D. J. 2002. Soil properties under a *Pinus radiata*-ryegrass silvopastoral system in New Zealand. Part II. C and N of soil microbial biomass, and soil N dynamics. *Agroforestry Systems*. 54:149-160.
- Anónimo, 2002. The SAS System Version 9.0 for Microsoft Windows. Statistical Analysis System. <http://support.sas.com>.
- Alvarado, A., Bertsch, F., Bornemisza, E., Cabalceta, G., Forsythe, W., Henríquez, C., Mata, R.A., Molina, E., Salas, R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo y Centro de Investigaciones Agronómicas/Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 111 p.
- Alvarado A. y Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1): 85-94.
- Albers, D, Migge., S, Schaefer M, Scheu S (2004) Decomposition of beech leaves (*Fagys sylvatica*) and spruce needles (*Picea abies*) in pure and mixed stands of beech and spruce. *Soil Biol Biochem* 36:155–164
- Alejo S. G. 2007. El carbono soluble como indicador de calidad química de materia orgánica. Tesis. Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Bertsch H. F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. San José, Costa Rica. 157p.
- Biederbeck, V., O. Janzen H. H., Campbell C. A., and Zentner R. P. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil Biol. Biochem.* 1656 p.
- Calace, N., Liberatori, A., Petronio B.B. and Pitroletti M. 2001. Characteristics of different molecular weight fractions of organic matter in landfill leachate and their role in soil sorption of heavy metals. *Environ. Pollut.* 113: 331-339.
- Cambardella, C. A., & Elliott, E. T. 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:123–130 pp.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Edit. UACH. México.
- Chang, S. X., Amatya, G., Beare, M. H. and Mead, D. J. 2002. Soil properties under a *Pinus radiata*- ryegrass silvopastoral system in New Zealand. Part I. Soil N and moisture availability, soil C, and tree growth *Agroforestry Systems* 54: 137–147.

- Chen, Y., N. Senesi, and M. Schnitzer. 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 rations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:352-358.
- CIAT 1999. *Sistemas Agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 328 p. <http://webapp.ciat.cgiar.org>.
- Corantioquia 2000. Efecto de la Acacia *mangium* en algunas propiedades fisicoquímicas en suelos degradados por minería de aluvión en el bajo Cauca Antioqueño. 79 p.
- Cuanalo C. H. 1981. Manual para la descripción de perfiles de suelo en campo. 2ª Edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 40 p.
- Dahlgren, R. A., Singer, M. J. and Xuang, X. 1997. Oak tree and grazing impacts on soil properties and nutrients in a California oak woodland. *Biogeochemistry*. 39: 45-64.
- Entry, J. A., R. E. Sojka, G. E. Shewmaker. 2002. Management of irrigated agriculture to increase organic carbon storage in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1957-1964.
- Eriksson, E., Karlton, E. and Lundmark, J. E. 1992. Acidification of forest soils in Sweden. *Ambio* 21: 150–153.
- Etchevers B. J. D., Monreal M. C, Hidalgo M. C, Acosta M. M, Padilla C. J. y López R. R. M. 2005. Manual de determinación de carbono en la parte aérea y subterránea de sistemas de producción en laderas. Colegio de Postgraduados.
- Etchevers, J. D., Prat, C., Balbontín, C., Bravo, M. and Martínez, M. 2006. Influence of Land Use on Carbon Sequestration and Erosion in Mexico: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 26: 21–28.
- FAO 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Captura de carbono en los suelos ara un mejor manejo de la tierra. Roma 2002. Basado el trabajo de Michel Robert Instituto National de Recherche Agronomique. París, Francia. 79 p.
- Fassbender, H. W., Bornemisza, E. 1987. *Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina*. 2ª edición., San José, CR, IICA. 420 p.
- Fox, R., R. H. and Piekielek, W. 1978. A rapic method for stimating the nitrogen supplying capability of a soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 42:751-753.
- Franzluebbbers, A. J., and Stuedemann, J. A. 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated croplivestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable Agric. Food Syst.* 22: 168-180.
- Frangi J., Goya, J. F., Bianchini, F. Luy A. M. Larroca, F.& Marco M. A. 2000. Ciclo de nutrientes en plantaciones de *Eucaliptus grandis* en la provincia de Entre Ríos. Informe final PIA. Proyecto Forestal de Desarrollo. 65 p.
- Gallardo, A. and Merino, J. 1998. Soil nitrogen dynamics in response to carbon increase in a Mediterranean shrubland of SW Spain. *Soil Biology Biochemistry* 30 (10/11): 1349-1358.

- Galvis, A., S. E. Alvarez and J. D. Etchevers. 1998. A method to quantify N fertilizer requirement. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 155-162.
- Galvis S., A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis doctoral. Montecillo Texcoco. Edo. De México. 1998. 327 p.
- Geissen, V, Brümer GW (1999) Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduous forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. *Biology and Fertility of Soils* 29: 335-342.
- Gómez Y., Paolini, J. 2003. Actividad microbiana en suelos de sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela convertidas en pasturas. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela. 273 p.
- Greenwood, K. L., and McKenzie, B. M. 2001. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41:1231–1250.
- Grove, T. S., O'Connell A. M., Mendham D., Barrow N. J. & Skjemstad J. O. 2000. Sustaining the productivity of tree crops on agricultural land in South-Western Australia. Rural Industries Research and Development Corporation Publication N° 01/09.
- Guerrero P. A. 1993. Mineralización del nitrógeno orgánico en diferentes agrosistemas del trópico húmedo. Tesis de Licenciatura. Químico Agrícola. Universidad Veracruzana. Orizaba, Ver.
- Guerrero E., Jhoniers y Monsalve P., Jaime A. 2006. El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda. *Scientia Et Técnica*, vol. XII <http://redalyc.uaemex.mx>.
- Gutiérrez C. M. 2003. Disponibilidad y dinámica del nitrógeno en suelos bajo especies maderables y leguminosas usadas como sombra en sistemas de café, en la subcuenca del Rio Grande del General. Centro Agronómico de Investigación y enseñanza. CATIE. Tesis Maestría. Turrialba Costa Rica. 78 p.
- Hairiah, K S. M., Sitompul, M., Van Noordwijk & Cheryl, P. 2001. Methods for sampling carbón stocks above and Below ground. <http://www.icraf.cgiar.org/sea>.
- Hernández G. L., Ruíz, S. C. 2002. El papel de la materia orgánica en los agroecosistemas. Fundación Polar. San Javier, Edo. Yaracuy Apartado Postal 182 San Felipe Edición Especial AÑO VIII N° 1 julio/diciembre 2002.
- Hinkelman, K., Kempthorne O. 1994: Design and analysis of experiments. Volume I: Introduction to experimental design. New York: John Wiley and Sons, Inc. 495 pp.
- INEGI 2002, Estadísticas Ambientales, Superficie forestal por ecosistema según formación primaria y vegetación secundaria, 2000.
- INEGI 1999. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Cuaderno estadístico Municipal. Huimanguillo, Tabasco.
- I T D G 2003. Ficha técnica n° 15. Conceptos de la energía de la biomasa. Soluciones Prácticas-ITDG. Lima, Perú. 7 p. <http://www.solucionespracticas.org.pe>

- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de suelos No. 103. FAO, Roma. 130 p.
- Jarillo R. J., Valles M, B., Castillo G. E., y Ramírez A. L. 2010. Efecto de la carga animal sobre características del suelo y de la Vegetación en un pastizal nativo del trópico Húmedo de Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12 (2):373-388.
- Jenkinson D. S. 1992. La materia orgánica del suelo, condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Edit. Mundi-Prensa. Madrid. 595-640. pp.
- Jorajuria, D., y Draghil, L. 2000. Influencia diferencial del peso y del Número de pasadas, sobrecompactación del suelo agrícola *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 4: 445-452.
- Kononova M., M. 1982. Materia orgánica del suelo su naturaleza propiedades y métodos de investigación. 1a Edic. Edit, Oikos, Barcelona. ISBN: 84-281-0788-2.
- Kononova, M. M., Z. T. Nowakowsky, y D. C. A. Newman. 1966. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. 2nd ed. Pergamon Press. New York.
- Kumada, K., Sato, O (1980). Characteristics of the green fraction of P type humic acids. *Soil Sci.Plant Nutr*. 8: 309-316.
- Kruse, J., D. Kissel, y M. Cabrera. 2004. Effects of drying and rewetting on C and N mineralization in soils and incorporated residues. *Nutr Cycl. Agroecosystems*. 69:247-256.
- Lal, R., Kimble, I., Levine, E, Stewart, B.A. 1995. Soils and global change. CRC & Lewis publishers, Boca Raton FL.
- León N., J. A. Gómez A., R. Hernández D., S. Álvarez S., D. J. Palma L., D. J. 2006. Mineralización en suelos con incorporación de residuos orgánicos en los altos de Chiapas, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México. 174 p.
- Lenon A. R., y Aguilar, A. S. (1987) *Materia Orgánica. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo.* (Eds) Aguilar S A, J D Etchevers B, J Castellanos R. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo. México-Texcoco, México. 217 p.
- MacDiken, K. 1997. A guide to monitoring carbón storage in forestry and agroforestry projects. Arlinton, VA, US, Winrock Internatinal. 87 p.
- Martínez S. J. L. 2005. Efecto de los nutrientes del suelo de los árboles del pastizal del trópico húmedo en el crecimiento de plántulas. Cuba. ISBN 959-250-156-4. pp.
- Moreno D. R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables. INIA-SARH, México, D. F.
- Murthy, I. K., Hegde G. T., Sudha P., & Ravindranath, N. H. 2006. Methodological issues in developing a community forestry greenhouse gas emissions mitigation project in

- Mancherial forest division of Andhra Pradesh, India. *Environmental Science & Policy*. 525-537 p.
- Nieder, R., Benbi, D. K. 2008. *Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment*, Springer Science + Business Media B.V. 2008.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-Semarnat-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 196p.
- Pieri C., and Steiner, K. G. 1997. The role of soil fertility in sustainable agriculture with special reference to sub-Saharan África. *Agriculture and Rural Development* 97 p.
- Porta-Casanellas J, López-Acevedo RM, Roquero-Laburu C (1999) *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2a edición. Mundi-prensa. Barcelona. 849 pp.
- Rutigliano, F. A., Ascoli, R. D., and De Santo, A. V. 2004. Soil Microbial metabolism and nutrients status in a Mediterranean area as affected by plant cover. *Soil Biology and Biochemistry*. 36 (11): 1719-1729.
- Salgado-García S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Ortiz-García, C. F., Castelán-Estrada, M., Lagunes-Espinoza, L. C., Guerrero-Peña, A., Ortiz-Ceballos, A. I. y Córdova-Sánchez, S. 2010. Sistema Integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81pp.
- Sánchez V., G. Obrador O., J. J. Palma L., D. J. Salgado, G., S. 2003. Densidad en un vertisol con diferentes agroecosistemas. *Interciencia*, vol. 28, Asociación Interciencia Caracas, Venezuela 347-351 pp.
- Sanders, J. R., and McGrath, S. P. 1988. Experimental measurements and computer prediction of copper complex formation by soluble soil organic matter. *Environ. Pollut.* 49: 63-76.
- Sánchez H., R. 2006. Evolución estructural de un suelo arcilloso por el aporte de materia orgánica y la inalteración mecánica. Colegio de Postgraduados. Tesis doctoral. Montecillo, Texcoco. Edo de México. 136 p.
- Schjonning P. J., Thomsen, P., Moberg, H., de Jorge, K. Kreisensen y B. Christensen. 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils: I Physical characteristics of structurally disturbed and intact soils. *Geoderma* 89: 177-198.
- Simpson, R. T., Frey S. D., Six J., Thiet, R. K. 2004. Preferential accumulation of microbial carbon in aggregate structures of no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1249-1255. pp.
- Sierra C. y J. Rodríguez. 1986. Efecto del historial de manejo en la mineralización de nitrógeno. *Ciencia e Investigación Agraria*. 13:229-228.

- Skyllberg, U., Raulund-Rasmussen, K. and Borggaard, O. K. 2000. pH buffering in acidic soils developed under *Picea abies* and *Quercus robur*—effects of soil organic matter, adsorbed cations and soil solution ionic strength. *Biogeochemistry* 56: 51–74.
- Swift, M. J., Heal, W. O., Anderson, J. M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology, Vol 5.* University of California Press, Berkeley, California, USA. 372p.
- Thevathasan, N. V., and Gordon, A. M., 2004. Ecology of tree intercropping systems in north temperate region: Experiences from Southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems.* 62: 257-268.
- Thompson M., L. Troeh R., F. 1980. *Los suelos y su fertilidad.* Edit. Reverté, S. A. Barcelona, España. 649 p.
- Vera S. G., Obrador O. J. J., Palma L. D. J. y Salgado G. S. 2003. Densidad aparente en un Vertisol con diferentes agroecosistemas. *Interciencia.* 28:347-351.
- Vogt CA, Vogt, D. J, Brown S, Tilley J. P, Edmonds R. L, Silver W. L, Siccama T. G. (1995) Dynamics of forest floor and soil organic matter accumulation in boreal, temperate, and tropical forests. pp. 159-178. En: Lal R, Kimble J, Stewart BA (eds) *Soil management and greenhouse effect. Advances in Soil Science.* CRC. Boca Ratón.
- Wong M. T. F., Gibbs, P., Nortcliff, S., Swift, R. S. 2000. Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *Journal of Agricultural Science, Cambridge.* P. 276.
- Wander, M. 2004. *Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function.* Edited by Fred Magdoff and Ray R. Weil CRC Press 2004 <http://www.crcnetbase.com>.
- Wild, A. 1972. Mineralization of soil nitrogen at a savanna site in Nigeria. *Experimental Agronomy.* 8:91-97.
- Wright, A. L., Hons F., M. 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from different tillage and crop regimes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:141-147. pp.
- van Noordwijk M., and De Willigen, P. 1991. *Root functions in agricultural systems. Plant roots and their environment.* Amsterdam, Netherland. Elsevier Ltd. P. 381-395.
- van Wambeke, A., Eswaran, H., Herbillon, A. J., Comerma, J. 1983. Oxisols. In: L. P., Wilding, N. E., Smeck, G. F., Hall (eds.). *Pedogenesis and soil taxonomy. II. Soil orders.* Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. p. 325-353.

CAPITULO II. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE RAÍCES EN SEIS AGROECOSISTEMAS EN UN SUELO ACRISOL HÚMICO DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO.

RESUMEN

El conocimiento de exploración radical de los agroecosistemas muestra la adaptación de estos a un determinado tipo de suelos y, permite programar estrategias de muestreo de suelo para su caracterización nutrimental y posterior manejo de la fertilización. En el presente estudio se planteó estudiar la densidad de longitud de raíces delgadas (DLR) de agroecosistemas creciendo en un suelo ácido característico de la “Sabana de Huimanguillo”, Tabasco, México. Dentro de los agroecosistemas se consideró un acahual que fue caracterizado florísticamente. En él, se encontraron 39 especies de las cuales 24 fueron arboles, nueve arbustos y seis hierbas. Se realizó la descripción de un perfil para confirmar la unidad de estudio que correspondió a un Acrisol Úmbrico cutánico (hiperdístico húmico). Para estimar la DRL se utilizó el método del monolito (USDA, 1999). Por cada agroecosistema se obtuvieron seis núcleos, cada uno se dividió en cuatro profundidades (0 -10, 10-20, 20- 30 y 30- 40 cm). La DRL presentó en los primeros 20 cm sus valores más altos; 67, 69.1, 66.5, 81.4, 82.8 y 77.6% para piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual, respectivamente. Los datos obtenidos se analizaron con el software SAS system versión 9.0, con el procedimiento Proc Anova y prueba de comparación de medias (Tukey 0.05). Los valores absolutos de la DRL finas varían significativamente entre profundidades, cinco de los seis agroecosistemas presentaron diferencias altamente significativas entre la primera profundidad (0-10 cm) y las otras. El agroecosistema pasto y hule presentaron en la mayoría de las profundidades diferencias altamente significativas con respecto a los otros. Fue notorio que a la profundidad de 40 cm los valores de DLR disminuyeron de manera drástica y en todos los agroecosistemas (menores de 4 km m^{-3}). Se sugiere posteriormente, estudiar la DLR a diferentes diámetros, a mayores profundidades y número de suelos para establecer con mayor claridad las diferencias de exploración vertical de la biomasa radical.

Palabras Claves: suelos ácidos; Acrisol, raíces delgadas; Acahual, exploración radical.

ABSTRACT

VERTICAL DISTRIBUTION OF ROOTS OF SIX AGROECOSYSTEMS IN A SOIL ACRISOL HUMIC OF HUIMANGUILLO SAVANNAH, TABASCO, MEXICO.

Knowledge of radical exploration of agroecosystems shows the adaptation of these to a particular type of soil and allows scheduling soil sampling strategies for characterization and subsequent nutrient fertilization management. In the current study was to examine the root length density thin (DLR) in agroecosystems grow in an acidic soil characteristic of the "Sabana de Huimanguillo, Tabasco, Mexico. Within agroecosystems was considered a acahual that was characterized floristically. In it, they found 39 species of which 24 were trees, new shrubs and six herbs. Case the description of a profile to confirm the study unit corresponding to Acrisols umbric (hiperdístrico humic). To estimate the DRL was used soil core method (USDA, 1999). For each agroecosystem were obtained six cores, each divided into four depths (0 -10, 10-20, 20 - 30 and 30 - 40 cm). The DRL presented in the first 20 cm higher values, 67, 69.1, 66.5, 81.4, 82.8 and 77.6% for pineapple, eucalyptus, acacia, rubber, grass and acahual, respectively. The data were analyzed with SAS system software version 9.0, with PROC ANOVA and means comparison test (Tukey 0.05). The absolute values of the fine DRL vary significantly among depths, five of the six agroecosystems were significantly different between the first depth (0-10 cm) and the others. The grass and rubber agroecosystem presented at the most depths, highly significant differences with respect to the other. It was evident that the depth of 40 cm DLR values decreased dramatically and in all agroecosystems (less than 4 km m⁻³). Suggested subsequently consider DLR to different diameters, at greater depths and number of floors to establish more clearly the differences in the vertical exploration root biomass.

Keywords: acid soils; Acrisol, Fine roots; Acahual, radical exploration.

2.1 INTRODUCCIÓN

El sistema radical es una de las estructuras más importantes de la planta, es el soporte de su biomasa aérea y el órgano de abastecimiento de agua y nutrientes, dentro de la planta es el encargado de la regulación hídrica (Vásquez, 2003; Neumann *et al.*, 2009) y en gran medida de importantes actividades fisiológicas, su actividad en la rizósfera es medular y se complementa con el mejoramiento de la fertilidad de los suelos, además, es el órgano que en los sistemas agrícolas fija mayores cantidades de carbono aportando materia orgánica al suelo (Gallardo *et al.*, 2000; Obrador *et al.*, 2004), proveyendo hábitats a micorrizas y organismos de la rizosfera y el rizoplano, etc. (Raich, 1980,1983; Morales 1997; Albrecht y Kandji 2003) el aporte de M.O al suelo por las raíces varía entre 15 y 35% del total de la biomasa aérea (Escudero 1985; Joffre 1987).

El patrón de distribución del sistema radical de las plantas en un suelo depende en gran medida de su profundidad, la cual está relacionada con la estructura, densidad aparente, altura del manto freático y la presencia de elementos tóxicos (Pritchett, 1990). Duque-Vargas *et al.* (1994) indican que en suelos ácidos un importante número de factores contribuye a la toxicidad de los cultivos o plantaciones, el más limitante está relacionado con la toxicidad por Al^{3+} , éste elemento es liberado como $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)^{2+}$ y $Al(H_2O)^{3+}$. Su alta saturación (>60%) reduce el crecimiento de las raíces perjudicando su funcionamiento, por lo que el cultivo no solo sufre estrés por falta de agua, sino también por los efectos tóxicos directos de los minerales (Samac y Tesfaye, 2003). La base molecular del daño causado por este elemento no está, sin embargo, clara, algunas plantas tolerantes lo excluyen, en tanto que otras lo acumulan (Blum, 1988). En los suelos ácidos que no tienen altos niveles de Al^{3+} , el principal efecto de la acidez del suelo se relaciona con la deficiencia de bases y la fijación del fósforo (P). La inhibición del crecimiento de las raíces es uno de los síntomas visuales más tempranos de la toxicidad por Al^{3+} . El menor desarrollo radicular se produce debido al bloqueo de la expansión celular más que de la división celular (Chang *et al.*, 1999; Martínez-Estévez *et al.*, 2001).

Un bajo desarrollo radical disminuye la capacidad que tienen las plantas de absorber nutrimentos, siendo, de manera general, los micronutrimentos Zn y B y los macronutrimentos P, Ca y Mg los principales elementos deficitarios en suelos con concentraciones altas de Al (Sumner *et al.*, 1991; Obrador, 2002). Las plantas presentan cierta adaptabilidad fisiológica a las condicionantes

mencionadas, la exclusión del Al de los ápices de los tallos ha sido reportada como el principal mecanismo de tolerancia al aluminio, por exudación de ligandos orgánicos con alta afinidad por Al^{+3} (Suhayda y Haug, 1986; Marschner, 1991; Betanzos *et al.*, 1996). La formación de calosa por inducción del Al en los ápices de las raíces ha sido propuesta como un marcador de la sensibilidad a dicho elemento, encontrándose altas relaciones entre tolerancia y altas concentraciones de calosa (Horst *et al.*, 1997; Collet y Horst, 2001). La adaptabilidad de las plantas genera una distribución específica del sistema radical, principalmente sobre las raíces delgadas. La diferenciación del tipo de raíces ha sido muy discutida y se han propuesto diversas maneras para hacerlo. Uno de los procedimientos más utilizados ha sido la discriminación por su diámetro, usando como frontera entre delgadas y no, los límites superiores de 6 mm. El diámetro de las raíces es un criterio que permite inferir la función de éstas; de manera general se dividen en macrorizas y branquiorizas, sus respectivas actividades están claramente definidas, conducción y absorción, respectivamente. Las raíces se encuentran en mayores cantidades cuando existen restricciones de humedad y nutrientes. La proporción de raíces finas es ligeramente mayor en sitios pobres o que presentan restricciones para su crecimiento y penetración. La producción de raíces de los árboles sigue por lo general la tendencia del crecimiento aéreo, alcanzándose la máxima exploración radical al cierre de copas (Keyes y Grieg 1981; Jourdan y Rey 1997; Guerra *et al.*, 2005).

La mayoría de los estudios realizados para conocer la distribución radical en 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 microbina (mineralización) se realiza en los primeros 30, pudiendo ser menor si no se hace laboreo de suelos (Donoso *et al.*, 1999). No obstante, su distribución está muy influenciada por la especie en estudio (Sánchez, 1984), la calidad del sitio, 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.*, 1994; 1995) y las interrelaciones árbol-cultivo (Jose *et al.* 2004; Moreno *et al.*, 2005a). No obstante lo anterior, el profundo sistema radical de los árboles toma nutrientes de los horizontes inferiores Reduciendo la pérdida de éstos por lixiviación (Obrador *et al.*, 2004). Estos nutrientes son reciclados a través de la descomposición de la hojarasca, retornando a las raíces más superficiales e incrementando la eficiencia del uso de los recursos del sistema (Jose *et al.*, 2004; van Noordwijk *et al.*, 1996). Las investigación en densidad de longitud de raíces en los

sistemas agrícolas 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 para nutrientes poco móviles (Van noodwijk y De Willigen, 1991). Caso específico del P para suelos ácidos (López, *et al.*, 2009). La distribución de las raíces de las plantas en el suelo es de extrema importancia, porque éste varía espacialmente mostrando horizontes diferenciados por su capacidad de suministrar nutrimentos y agua. Dada la importancia que tiene la biomasa radical y dada la necesidad de conocer acerca de su comportamiento en suelos tropicales, el presente estudio tuvo como objetivo principal estudiar la densidad de longitud de raíces (DLR) finas de seis agroecosistemas creciendo en un suelo ácido característico de la Región “Sabana de Huimanguillo”, Tabasco, México.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. El sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en seis agroecosistemas de la región conocida como la Sabana de Huimanguillo, esta zona se caracteriza por lomeríos de baja altitud (20 a 30 msnm) que constituye una antigua planicie aluvial erosionada, de manera que las corrientes erosivas han formado desniveles que le dan forma de lomeríos al paisaje. La edad data del Pleistoceno en la era cuaternaria (aunque existen lomeríos del terciario originados a partir de rocas calizas, lutitas y arenas). Ésta fisiografía fue formando suelos cuando una mezcla de minerales que fueron arrastrados por los procesos erosivos, se fue intemperizando, dando origen a suelos con altos contenidos de arenas ricas en aluminio y hierro (Palma *et al.*, 2007). El clima corresponde a un AmW, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano. La precipitación y la temperatura media anual de la zona son de 2225 mm, y 27° C, respectivamente (García, 1988; INEGI, 2002). Con respecto a la vegetación y uso del suelo (Figura 1), la mayor superficie en la sabana es ocupada por pastizales 65.4 %, (99,55 ha), plantaciones de Eucalipto 20.2% (30,874 ha) y Plantaciones de cítricos 9.5% (14, 426 ha) (Palma *et al.*, 2009 y OEIDRUS, 2005). En la región las actividades forestales han venido tomando una alta relevancia siendo la de mayor crecimiento en los últimos 15 años (SIAP-SAGARPA, 2010).

2.2.2. Los agroecosistemas en estudio

Se consideraron tres especies arbóreas; Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labell); Hule (*Hevea brasiliensis* L.), Acacia (*Acacia mangium* Willd), y dos cultivos; Piña (*ananas comosus* Lindl) y pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*), además se tomó como ecosistema de referencia un acahual del cual se colectaron ejemplares botánicos de las diferentes especies que componían la vegetación del área de estudio, recopilándose los datos correspondientes a la comunidad vegetal, altura, estructura y composición florística, así como las características particulares de las plantas colectadas. Los ejemplares se llevaron al Herbario CSAT del Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, donde fueron deshidratados e identificados mediante el uso de bibliografía especializada: trabajos florísticos regionales (Cowan, 1983; García, 1999; Gaspar, 2002; Palma-López *et al.*, 2000; Zavala *et al.*, 1997, 1998), monografías y revisiones de grupos (Gómez-

Pompa, 1979-1998; Lot, 1991; Pennington y Sarukhan, 1968; 2005 Rzedowski y Rzedowski, 1985-1990, 1991-2004). Los ejemplares identificados fueron corroborados con ejemplares ya identificados en la colección del herbario CSAT. La colecta y herborización del material se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Lot y Chiang (1986).

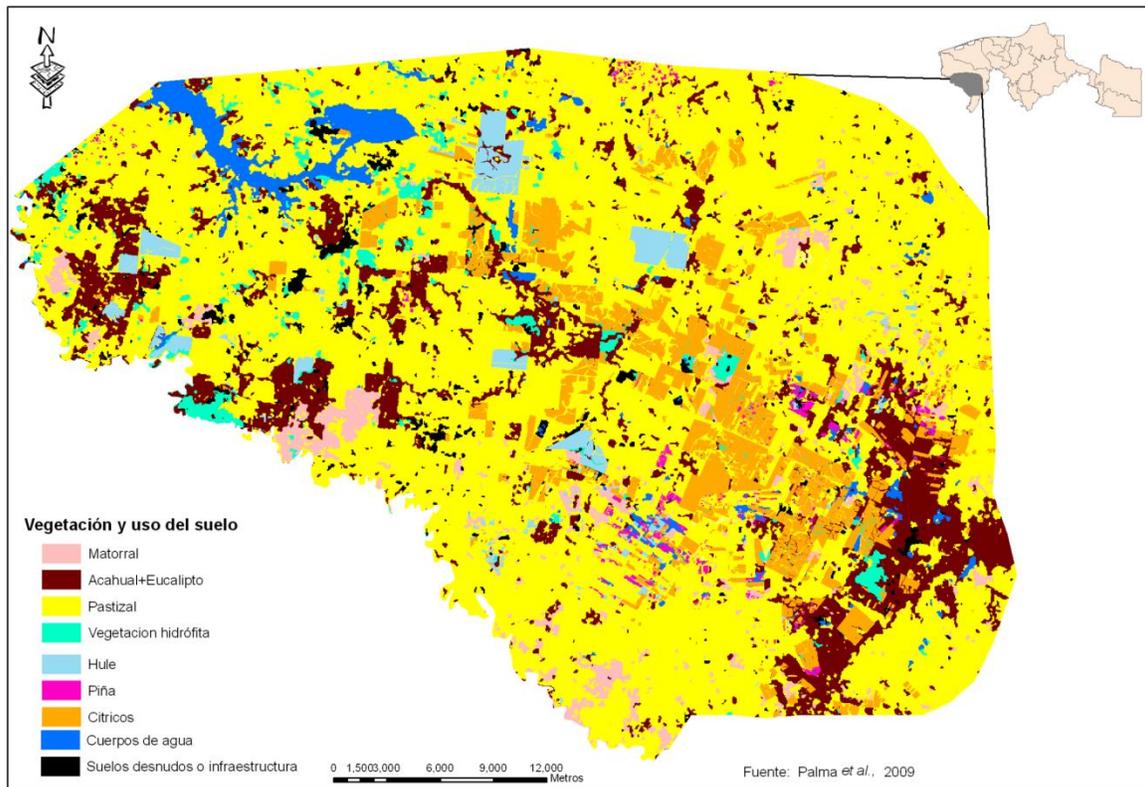


Figura 2.1. Vegetación y uso del suelo en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México (Palma-López, *et al.*, 2009).

La DOF (2008) define como acahual a la vegetación forestal que surge de manera espontánea en terrenos que estuvieron bajo un uso agrícola o pecuario en zonas tropicales y que cuentan con menos de veinte árboles por hectárea, con un diámetro normal mayor a veinticinco centímetros, o bien, que teniendo árboles con diámetros normales de más de quince centímetros, cuentan con un área basal por hectárea de menos de cuarenta metros cuadrados.

Un terreno abandonado pasa por diversas etapas, en un inicio se coloniza por numerosas hierbas y arbustos provenientes del banco de semillas. Uno o dos años después aparecen especies arbóreas pioneras, las cuales a su vez pueden ser gradualmente reemplazadas por especies arbóreas sucesionales intermedias, provenientes de semillas de la vegetación arbórea circundante (Gómez-Pompa 1971, Gómez-Pompa *et al.*, 1972). En el Cuadro 2.1, se muestran las especies identificadas en el acahual en estudio. Se encontraron 39 especies de las cuales 24 son arboles, nueve arbustos y seis hierbas, si compara con otros estudios realizados este tipo de vegetación para zonas tropicales húmedas, el número encontrado de familias es alto y coincidente el porcentaje (>50%) de arboles representativo de bosques maduros (Ochoa *et al.*, 2007, Escobar-Ocampo y Ochoa-Gaona, 2007; Contreras, 2010).

2.2.3. Selección de las parcelas

El tiempo aproximado que los agroecosistemas mencionados han sido manejados en los sitios estudiados es de aproximadamente de 10 años. La selección se hizo considerando que el suelo fuese uniforme y representativo de la sabana, razón por la que seleccionó un suelo Acrisol húmico (AChu), para ubicarlo se recurrió a el estudio de suelos de Palma *et al.*, (2007) barrenaciones de suelos (USDA, 1999), una vez ubicados se realizaron entrevistas con posibles productores cooperantes seleccionando a aquellos en que sus parcelas cumplían con los requisitos; edad de manejo y tipo de suelos.

Cuadro 2.1. Especies vegetales de un acahual de 10 años ubicado en un suelo Acrisol húmico de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Guarumo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	<i>Sterculiaceae</i>
2	Cesniche	<i>Lippia myriocephala</i> Schl. et Cham.	<i>Verbenaceae</i>
3	Pochote	<i>Cochlospermum vitiifolium</i> (Willd.) Spreng.	<i>Cochlospermaceae</i>
4	Manzano	<i>Bunchosia loanceolata</i> Turcz.	<i>Malpighiaceae</i>
5	Jolocín	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	<i>Tiliaceae</i>
6	Volador	<i>Terminalia amazonia</i> (Gmell.) Excell	<i>Combretaceae</i>
7	Nance cimarrón	<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	<i>Verbenaceae</i>
8	Chachalacuillo	<i>Citharexylum hexangulare</i> Greenm.	<i>Verbenaceae</i>
9	Barí	<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb.	<i>Clusiaceae</i>
10	Vara prieta	<i>Vernonia patens</i> Kunth	<i>Asteraceae</i>
11	Tachiconcillo	<i>Davilla kunthii</i> St. Hil.	<i>Dilleniaceae</i>
12	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	<i>Meliaceae</i>
13	Jobo	<i>Spondias mombin</i> L.	<i>Anacardiaceae</i>
14	Mulato	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	<i>Burseraceae</i>
15	Tachuelillo	<i>Zanthoxylum kellermanii</i> P. Wilson	<i>Rutaceae</i>
16	Nudillo	<i>Faramea occidentalis</i> (L.) A. Rich.	<i>Rubiaceae</i>
17	Cimarrón	nd	
18	Zarza	<i>Mimosa pigra</i> L. <i>Semmmadenia donnell-smithii</i> (Rose.)	<i>Fabaceae</i>
19	Cojón de venado	Woodson	<i>Apocynaceae</i>
20	Morenilla	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Trians	<i>Melastomataceae</i>
21	Castarrica	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	<i>Rubiaceae</i>
22	Capulincillo	<i>Xylopia frutescens</i> Aubl. <i>Schefflera morototonii</i> (Aubl.) Dcne. &	<i>Annonaceae</i>
23	Marota	Planch.	<i>Araliaceae</i>
24	Cenizo	<i>Miconia argentea</i> (Sw.) DC.	<i>Melastomataceae</i>
25	Diente de perro	nd	
26	Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	<i>Myrtaceae</i>
27	Limón dulce	<i>Citrus limmeta</i> Risso	<i>Rutaceae</i>
28	Limón real	<i>Citrus medica</i> L.	<i>Rutaceae</i>
29	Trinche del diablo	nd	
30	Berenjena de montaña	<i>Solanum</i> sp.	<i>Solanaceae</i>
31	Pata de vaca	<i>Bauhinia divaricata</i> L.	<i>Fabaceae</i>
32	Canaque	<i>Alchornea laticifolia</i> Swartz	<i>Euphorbiaceae</i>
33	Higuillo	<i>Ficus</i> sp	<i>Moraceae</i>
34	Laurel	<i>Nectandra sanguinea</i> Rott.	<i>Lauraceae</i>
35	Amargoso	nd	
36	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaert.	<i>Bombacaceae</i>
37	Girasol de mantilla	nd	
38	Chipile cimarrón	nd	
39	Negrilo	<i>Lantana camara</i> L.	<i>Verbenaceae</i>

nd = no determinado

2.2.4. Descripción y clasificación del suelo de una de las parcelas en estudio

Para asegurar que la unidad de estudio fuese AChu, se describió en campo un perfil de suelo en uno de los agroecosistemas (piña). La descripción de los horizontes de diagnóstico se realizó utilizando la metodología de Cuanalo (1990). Se tomó una muestra de aproximadamente 1.0 kg de suelo por horizonte, obteniéndose un total de cinco muestras; estas se llevaron al Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas (LASPA) del Campus, Tabasco, donde se realizaron determinaciones físicas y químicas siguiendo la metodología de la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). Las determinaciones fueron: Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, pH mediante potenciometría en agua (relación 1:2), Textura por el método del hidrómetro de Bouyocous, Conductividad Eléctrica (CE) del extracto de saturación por medición electrolítica (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) empleando acetato de amonio 1N a pH 7.0 como solución extractante, y Fósforo (P) extractable por el método de Olsen.

Los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras, más la información obtenida en campo (descripción de los perfiles) permitió la clasificación de los suelos utilizando los conceptos de la Base Referencial Mundial del recurso suelo (SSLS 1992; WRB, 2007).

En el (Cuadro 2.2). Se muestran los resultados de la caracterización del perfil incluyendo los análisis de suelos por horizontes, hasta los 65 cm de profundidad el suelo es fuertemente húmico, de color negro oscuro con baja saturación de bases (mucho menor que 50%), presentó revestimientos de arcilla, después de ésta, aparecieron dos horizontes de transición fuertemente intemperizados con bajos contenidos de materia orgánica y muy ácidos, con contenidos de P no detectables, se confirmó que la unidad de suelo en estudio es Acrisol Úmbrico cutánico (hiperdístrico húmico).

Cuadro 2.2. Perfil: Con Piña; **Tipo de de suelo:** Acrisoles húmicos (AChu); **Describió:** José J. Obrador Olán y Arnulfo Murillo de la Rosa; **Fecha:** 11/noviembre/09; **Localidad:** Colonia Pino Suarez; **Localización:** 17°42'03'' norte 93°39'95'' oeste; **Elevación:** 33 msnm; **Relieve:** Loma con pendiente regular de tipo convexa-cóncava mayores al 5% y menores de 10%; **Drenaje del sitio:** Normal; **Material parental:** Sedimentos aluviales del Pleistoceno; **Flora cultivada:** 10 años con el cultivo de piña; **Fauna:** crotobinas (heces de lombrices), hormigas; **Manto freático:** 80 cm

Ho	Prof. cm	DESCRIPCION									
Ap1	0-25	Color pardo amarillento (10 YR 6/4) en seco, y negro (10 YR 2/1) en húmedo; textura franco arenosa; estructura fuertemente desarrollada en bloques subangulares, finos, abundantes; poros numerosos finos y medianos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; raíces comunes de tamaño finas y delgadas; presencia de crotobinas y hormigas, pH 5.60.									
Ah2	25-65	Color pardo oscuro (10 YR 3/3) en seco, negro (10Y R 2/1) en húmedo; motas tenues cafés comunes (10YR 3/2) pardo grisáceo; textura franco limosa; estructura fuertemente desarrollada en bloques subangulares con pocos grumos, finos y medios; poros numerosos, de diámetro finos y medianos, continuos caóticos dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástico; cutanes por "Eluviación" continuos en canales y poros grandes de minerales arcillosos con humus; nódulos muy pocos, pequeños y medianos, de color pardo oscuro (10 YR 3/3), de forma prismática subangular de dureza blanda y composición de óxido de hierro; raíces comunes fina delgada y medias; presencia de crotobinas; pH 5.26.									
Bt1	65-100	Color gris claro (2.5Y 6/4) en seco, gris (2.5Y 8/4) en húmedo, motas (2.5Y 5/1) grises y motas (10YR 6/8) rojas, textura franco arcillo arenosa; poros frecuentes, de diámetro finos y muy finos, continuos, de orientación caóticos dentro y fuera de los agregados tuburales; estructura moderadamente desarrollada, bloques subangulares finos y medios; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; cutanes por "Eluviación" continuos en canales y poros grandes de minerales arcillosos con humus; pedregosidad pocas piedras, de tamaño pequeñas, de forma subangulares, de clases arenisca, caliza y basalto; nódulos frecuentes, pequeños y medianos, de color pardo oscuro (10 YR 3/3) y rojos (10 R 4/8), de forma prismática subangular y elipsoide, dureza blanda y composición de óxido de hierro; permeabilidad moderada; raíces raras finas, pH 5.15									
Bt2	100-200	Color amarillo rojizo (7.5 YR 7/8) en seco, y rojo amarillento (5 YR 5/8) en húmedo; textura arcillo arenosa; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares, medios; poros pocos finos y medianos, continuos, caóticos; permeabilidad lenta; consistencia en húmedo y en muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; raíces escasas; pH 5.00.									
Ho	Textura (%)			MO (%)	P Olsen (mg kg ⁻¹)	pH	CIC	Ca	Mg Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Na	K
	A	L	R								
Ap1	60.5	17.2	22.3	6.5	7	5.8	14.7	3.18	0.94	0.32	0.11
Ah2	62.7	15.6	21.7	6.9	4	5.4	13.9	3.22	0.96	0.28	0.10
Bt1	51.7	16.9	31.4	0.6	NS	4.9	8.1	1.82	0.55	0.23	0.07
Bt2	52.3	11.1	36.6	0.2	NS	4.7	7.3	1.78	0.49	0.20	0.07

2.2.5. Muestreo de raíces

Para estimar la densidad de longitud de raíces (DLR) se utilizó el método del monolito (USDA, 1999), el cual consiste en usar cubos metálicos, en este estudio los que se utilizaron, median de largo y ancho 25 cm y de altura 10 cm. Por cada agroecosistema se obtuvieron seis monolitos, cada uno se dividió en cuatro profundidades (0 -10, 10-20, 20- 30 y 30- 40 cm). El suelo obtenido en cada estrato se colocó en bolsas de plástico, las cuales fueron etiquetadas con el número del monolito, profundidad, agroecosistema y fecha. Posteriormente se trasladó el material al laboratorio del Campus Tabasco, donde las raíces (delgadas) secundarias, terciarias y cuaternarias de diámetros menores a 6 mm (Cuanalo, 1990), primeramente fueron extraídas manualmente del suelo seco para después extraer el resto por el método de lavado a mano de Böhm (1979). Las raíces extraídas de cada monolito fueron con la ayuda de un calibrador vernier de 0-5 mm, se midió la longitud y grosor de cada una de las raíces encontradas en las muestras de suelo y considerando el volumen de suelo de cada monolito, se calculó la DLR en las unidades km.m^{-3} (Moreno et al., 2005a), se expresa en km de raíz por m^3 de suelo (km.m^3) y fue estimada mediante la siguiente ecuación:

$$DLR = \frac{\text{longitud raíces finas}}{\text{vol de suelo}}$$

2.2.6. Análisis estadístico

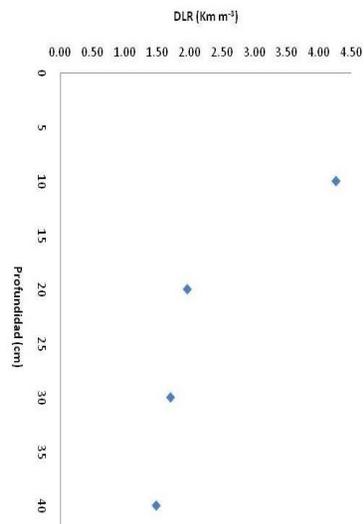
Los resultados de los parámetros estudiados fueron analizados estadísticamente a través un diseño completamente al azar. Para observar las diferencias de la variable en estudio (DLR) entre los seis agroecosistemas y cuatro profundidades. En este apartado se realizaron comparaciones con los diferentes datos obtenidos, los cuales se analizaron con el software SAS system versión 9.0, con el procedimiento *Proc Anova* y prueba de comparación de medias (Tukey 0.05).

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

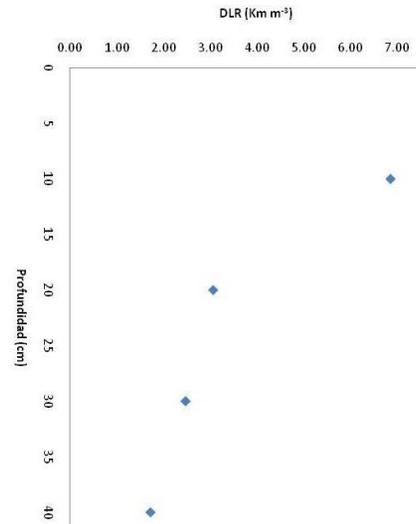
2.3.1. Comportamiento vertical de la DLR por agroecosistema

La DRL en los agroecosistemas en estudio, presentó en los primeros 20 cm sus valores más altos; 67, 69.1, 66.5, 81.4, 82.8 y 77.6 % para piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual, respectivamente, llama la atención que el segundo valor más alto después del pasto sea el del agroecosistema hule dado que se esperaría que este correspondiera al agroecosistema piña, diversos autores (Moreno *et al.*, 2005b; Monkay, *et al.*, 2006) indican que la distribución de raíces finas en el suelo para especies arbóreas tiende a ser menor en comparación a las herbáceas, sin embargo es más profundo y mejor distribuido dentro del perfil. Lo cual es crucial para la optimización de los recursos, su distribución en profundidad determina su éxito ecológico en la absorción de nutrientes y agua y le permite una pronta respuesta a los cambios estacionales de estos recursos (Gutiérrez, 1997; Draye, 2003). No obstante lo anterior los valores absolutos de la DRL finas varían significativamente entre profundidades, cinco de los seis agroecosistemas presentaron diferencias altamente significativas entre la primera profundidad (0-10 cm) y el resto (Figura 2.2, Cuadro 2.3). El acahual y la piña mostraron los valores más bajos de LDR (4.54 y 9.43 respectivamente) y el pasto el más alto (38.78) de hecho prácticamente duplicó el valor del hule que es el segundo con mas DLR con un valor de 19.22. No obstante un sistema agroforestal como el acahual, amortigua los impactos causado por el uso continuo de la agricultura, favoreciendo la recuperación del recurso suelo a través del incremento de la materia orgánica (MO) por el aporte de la hojarasca, pero sobre todo por el de las raíces delgadas (Sánchez 1995; Cairns *et al.*, 1997). Éstas puede incrementar 5.4 veces más la tasa de retorno del C que la caída de hojarasca sobre la superficie (Fogel, 1983), principalmente debido a su mayor aporte anual y una mayor velocidad de mineralización (John *et al.*, 2002).

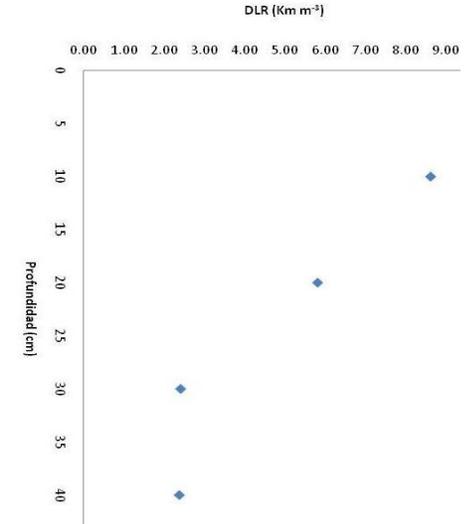
Piña



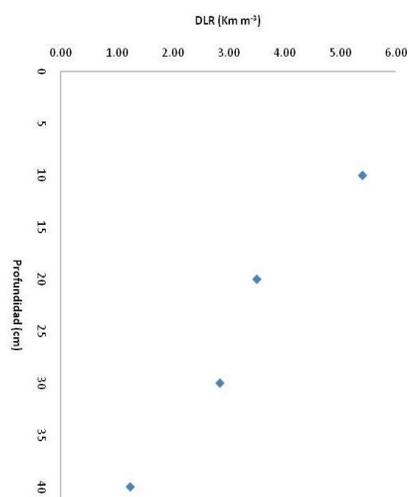
Eucalipto



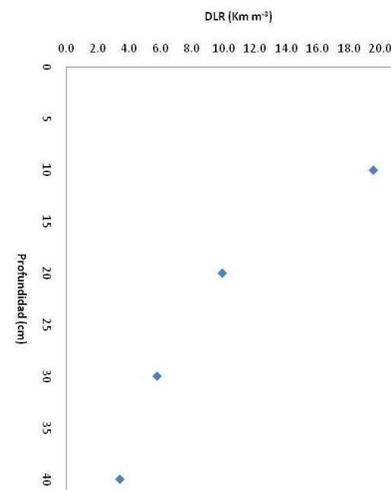
Hule



Acacia



Pasto



Acahual

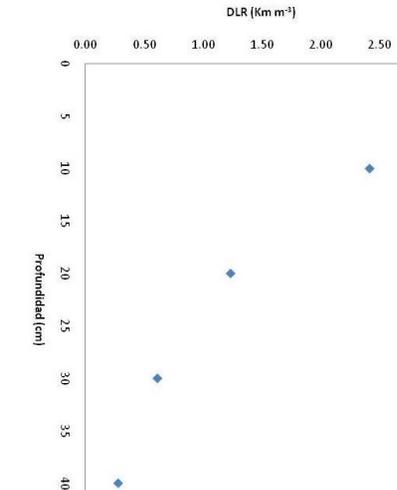


Figura 2.2. Comportamiento de la DLR a diferentes profundidades en los agroecosistemas en estudio

Cuadro 2.3. Valores promedio de densidad de longitud de raíces finas (km m^{-3}), por profundidad, en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	Profundidad				Total
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	
Piña	4.26a**	1.97b	1.71b	1.49b	9.43
Eucalipto	6.87a**	3.08b	2.48b	1.73b	14.17
Hule	8.62a**	5.81a**	2.41b	2.37b	19.22
Acacia	5.40a*	3.51b*	2.85b*	1.24c	12.99
Pasto	19.60a**	9.96b**	5.80bc	3.42c	38.78
Acahual	2.42a**	1.23b*	0.61c	0.28c	4.54

n = 6. Literales diferentes en hileras indican diferencias estadísticas; *significativas y **altamente significativas (Tukey 0.05).

2.3.2. Comportamiento vertical de la DLR entre agroecosistema

Los valores de LDR en la mayoría de los agroecosistemas (Figura 2.4; Cuadro 2.3) estudiados estuvieron en el intervalo de los observados en otros agroecosistemas (Purbopuspito y van Rees, 2002; Silva y Rego, 2003; Bayala, *et al.*, 2004; Radersma y Ong, 2004) y en otros tipos de suelos (Mulia y Dupraz, 2006) a excepción del pasto que presentó valores más altos que los reportados para dehesas de España (Joffre *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2005a). En estudios realizados en dos sistemas agroforestales de dehesas encina-trigo y encina-pasto Moreno *et al.* (2005b) encontraron que los sistemas radicales para estas especies fueron profundos para árboles y someras para los cultivos y pastos naturales e indican que sus resultados están acordes con el concepto de doble capa (profunda y superficial), en el reparto del agua disponible entre dos estratos vegetales. Muchos autores (Ehleringer *et al.*, 1991; Sala *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1997; Walker *et al.*, 1981) señalan además, que las plantas leñosas toman la mayor cantidad del agua y nutrientes de los horizontes inferiores, contrario a lo que hacen las herbáceas.

Las raíces delgadas se encuentran en mayores cantidades en suelos poco fértiles, con restricciones químicas (toxicidad, bajo pH, alta salinidad), físicas (poco profundos, falta o excesos de agua, desestructurados), y/o biológicas (baja población de micro y macrofauna) etc., dado que, las raíces de mayor diámetro presentan restricciones para su crecimiento y penetración (Keyes y Grieg 1981; Jourdan y Rey 1997; Guerra *et al.*, 2005). Sin embargo, Lehmann (2003) indica que la acidez del suelo y el manto freático elevado confieren

restricciones en el crecimiento y desarrollo de la raíz en el subsuelo y limitan su crecimiento.

El agroecosistema pasto y hule presentaron en la mayoría de las profundidades diferencias altamente significativas con respecto a los otros (Cuadro 2.4). Esto puede estar relacionado con una mayor adaptabilidad a el suelo en estudio (Serrano, 2003). Es notorio es que a la profundidad de 40 cm los valores de DLR disminuyeron de manera drástica y en todos los agroecosistemas (Figura 2.3); fueron menores de 4 km m^{-3} . La biomasa de raíces delgadas en especies arbóreas disminuye conforme lo hace la profundidad, si bien cierto de manera menos drástica que las herbáceas, su reducción demuestra en la mayoría de las especies una caída exponencial conforme se penetra verticalmente, no obstante, por lo general, se incrementa la biomasa de raíces gruesas (Raich, 1983; Jackson *et al.*, 1997; Fujita y Yanagisawa, 1999). Fabiao *et al.* (1994) analizaron la distribución de raíces delgadas en los primeros 70 cm del suelo en dos rodales de *Eucalyptus globulus* de 12 y 18 años y hallaron que el 71,9% y el 57,9%, respectivamente, de la biomasa de raíces finas se encontraban en los primeros 20 cm superficiales. Mencionados decrementos e incrementos de raíces de diferentes diámetros, se relaciona con la función de los tejidos que la conforman. El sostén, la conducción de agua y la mayor parte de la fijación de carbono debajo del suelo está a cargo de las raíces gruesas, mientras que la absorción de nutrientes y el reciclaje de nutrimentos están relacionadas con las raíces finas y delgadas; éstas se caracterizan por ser una de las estructuras más dinámicas y activas de la planta (Flores, 1999) y por desarrollarse en sitios donde la fertilidad edáfica es mayor (Jensen, 1994).

Cuadro 2.4. Valores promedios de densidad de longitud de raíces finas (DLR) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Profundidad (cm)	Piña	Eucalipto	Hule	Acacia	Pasto	acahual
	Valores medios de DLR finas (km.m^{-3})					
10	4.2635ab	6.8730bc	8.6211c	5.4003abc	19.600d	2.4173a
20	1.9669 a	3.0751a	5.8123b	3.5065ab	9.9588d	1.2349a
30	1.7088ab	2.4837ab	2.4075ab	2.8456a	5.7960c	0.61247b
40	1.4875ab	1.7333ab	2.3748ab	1.2390ab	3.4227a	0.27917b

El ANOVA se realizo contrastando cada profundidad de todos los agroecosistema, Cada uno tuvo seis repeticiones. En columnas, literales diferentes indican diferencias estadísticas (Tukey 0.05)

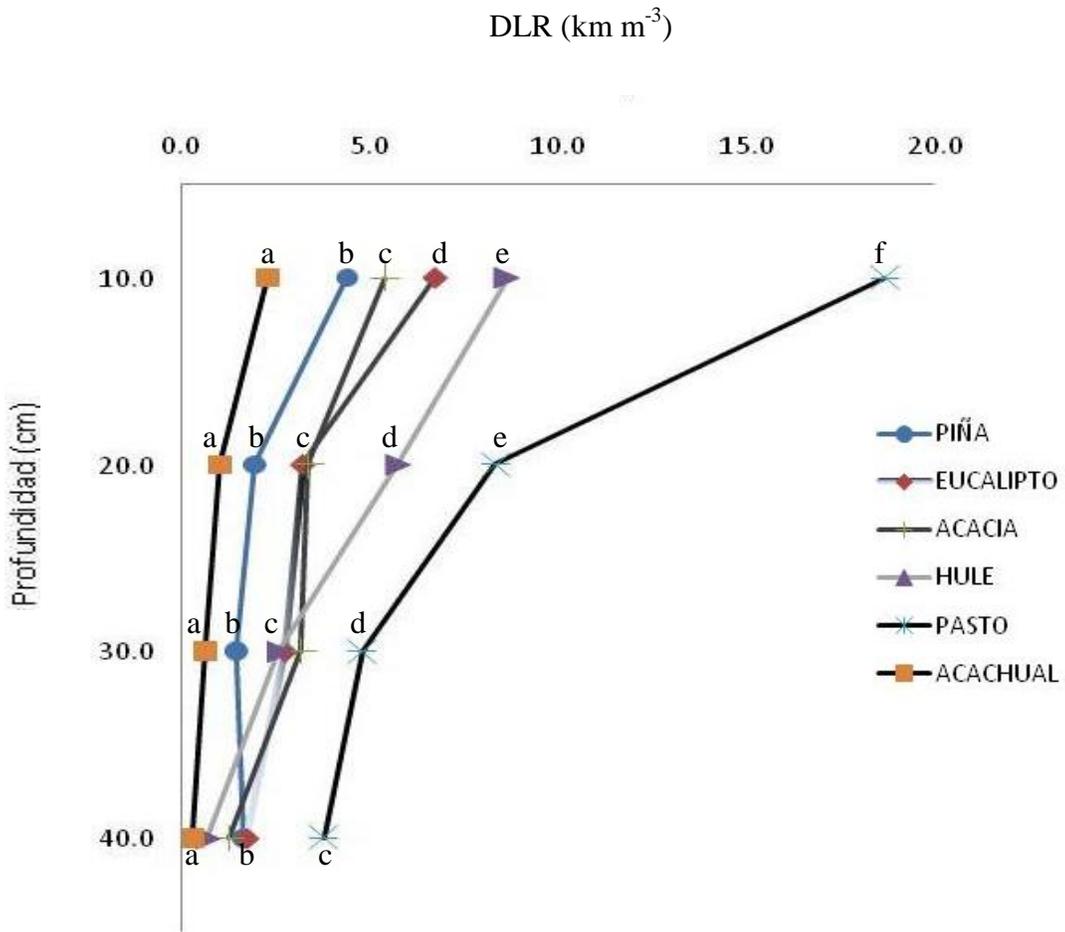


Figura 2.3. Distribución vertical de raíces delgadas (km.m^3) de seis agroecosistemas en un suelo Acrisol húmico (Achu) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

2.4 CONCLUSIONES

1. La densidad de longitud de raíces (DLR) de los sistemas seis agroecosistemas en estudio presentaron un apreciable desarrollo en la profundidad 0-20 cm, decreciendo rápidamente conforme incrementó la profundidad.
2. La más alta densidad de longitud de raíces la presentaron los agroecosistemas pasto y hule, siendo en la mayoría de las profundidades estadísticamente diferente a los otros agroecosistemas.
- 2 No fue notorio que las especies arbóreas presentaran una distribución homogénea de la DLR delgadas en las profundidades estudiadas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda en investigaciones posteriores considerar:

- El estudio de la DLR a diferentes diámetros, a mayores profundidades y en un mayor número de suelos de sabana para establecer con mayor claridad las diferencias de exploración vertical de la biomasa radical.
- Estudiar la tasa de mineralización del material orgánico.
- Estimar la demanda nutrimental de los agroecosistemas y el suministro de nutrientes por parte del suelo.

2.5 LITERATURA CITADA

- Albrecht, A. and S. T. Kandji. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 99: 15-27.
- Bayala, J., Teklehaimanot, Z., and Ouedraogo, S. J. 2004 Fine root distribution of pruned trees and associated crops in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforest. Syst.* 60: 13–26.
- Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Springer Verlag, Berlin, FGR.
- Blum, A. 1988. Drought resistance. In: *Plant breeding for stress environments*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 43-76.
- Betanzos M. E., Pandey, S., y Ramírez, F. A. 1996. Mejoramiento genético de maíces tropicales tolerantes a suelos ácidos. *Campo Experimental del Centro de Chiapas, Ocozocoautla, Chis. México*.
- Cairns, M. A., Helmer S. B. E. and Baumgardner, G. A. 1997. Root biomass allocation in the world upland forests. *Oecologia* 111:1–11.
- Chang, Y. C., Yamamoto, Y. and Matsumoto, H. 1999. Accumulation of aluminium in the cell wall pectin in cultured tobacco (*Nicotianatabacum* L.) cells treated with a combination of aluminium and iron. *Plant Cell Environ.* 22:1009-1017.
- Collet, L. and Horst, W. J. 2001. Characterisation of maize cultivars in their adaptation to acid soils on the single plant level. In: W. J. Horst (Eds.), *Plant nutrition—Food security and sustainability of agro-ecosystems*. pp. 86-87.
- Contreras R, I., 2010. Manejo y uso actual de los acahuals en la UMAFOR 2708CE Centro, Tabasco. Tesina “Maestro tecnólogo”. H. Cárdenas, Tabasco.
- Cowan, C. P. 1983. *Listados florísticos de México I. Flora de Tabasco*. Instituto de Biología, UNAM. México. pp.123.
- Cuanalo de la C., H. 1990. *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo*. 3era. ed. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 40p.
- Draye, X. 2003. Distribution of banana roots in time and space. In: *International Symposium Banana Root System: towards a better understanding for its productive management*. Ed. F, E. Rosales, T. Moens y L. Vega. INIBAP-LAC. San José, Costa Rica.
- Duque-Vargas, J., Pandey, S., Granados, G., Ceballos, H. and Knapp, E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. *Crop Sci.*, 34: 50-54.
- Donoso, S., Obispo, A., Sánchez, C., Ruiz, F., Herrera, M., 1999. Efecto del laboreo sobre la biomasa De eucalyptus globulus en el suroeste de España. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 8 (2): 377-386.
- Dwyer, L., Ma, B., Stewart, D., Hayhoe, H., Balchin, D., Culley, J. and Mc Govern, M. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canadian Journal of Soil Science*. 76: 23-28.

- Escudero, A. 1985. Efectos de árboles aislados sobre las propiedades químicas del suelo. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* 22(2): 149-159.
- Escobar-Ocampo, Ma. C. y Ochoa-Gaona, S. 2007. Estructura y composición florística de la vegetación del parque educativo Laguna Bélgica, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 78: 391- 419.
- Fabiao, A., Madeira, M. V., Steen, E., Katterer, T. and Ribeiro, C. 1994. Growth dynamics and spatial distribution of root mass in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. En: *Eucalyptus for Biomass Production.*(Editors) J. S. Pereira, and H. Pereira. Commission of the European Communities. pp. 60-76.
- Fabiao, A., Madeira, M. V., Steen, E., Katterer, T., Ribeiro, C. and Araújo, C. 1995. Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and Soil* 168-169: 215–223.
- Flores, E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago, C. R. LUR. 884 p.
- Fogel, R. 1983. Root turnover and productivity in coniferous forests. *Plant Soil.* 71:57–85.
- Fujita, N. and Yanagisawa, N. 1999. Different distribution patterns of woody species on a slope in relation to vertical root distribution and dynamics of soil moisture profiles. *Ecological Research.* 14:165-177.
- Gallardo, A., Rodríguez-Saucedo, J.J., Covelo, F. and Fernández-Alés, R. 2000. Soil nitrogen heterogeneity in a dehesa ecosystem. *Plant Soil,* 222: 71-82.
- García L., E., J. Zavala C., D.J. Palma-López, A. Guerrero P., N. Rivero B. Y A. Triano S. 1999. Cartografía de suelos, uso actual y vegetación del área de influencia de las Baterías Jujo, Tecminoacán, Artesa y CPG. Ciudad Pemex, Tabasco y Chiapas. Informe técnico. Colegio de Postgraduados. Campus Tabasco. 75 p+anexos
- García M, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ta Edición. Ed. Indianapolis. México, D.F. 246p.
- Gaspar G., J. A. 2002. Las Pteridophyta silvestres del Estado de Tabasco y su potencial ornamental. Tesis de Licenciatura en Agronomía. Universidad Autónoma Chapingo, Centro Universitario del Sureste. Puyacatengo, Teapa, Tabasco. 86 p.
- Guerra C. J., Gayoso A. J., Schlatter V. J. y Nespolo R. R. 2005. Análisis de la biomasa de raíces en diferentes tipos de bosques: Avances en la evaluación de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque (Valdivia).* 26(1): 5-21.
- Gómez-Pompa A. y Vázquez-Yanes C. 1976. Estudios sobre sucesión secundaria en los trópicos cálido-húmedos: el ciclo de vida de las especies secundarias. En Gómez-Pompa A., Vázquez-Yanes C., del Amo S. y Butanda A. Eds. *Regeneración de Selvas,* pp. 559-592. Continental, México, D.F.
- Gómez-Pompa, A. (editor) 1979-1998. Flora de Veracruz. Fascículos 1-102. Instituto de Ecología, A.C. y University of California. Xalapa, Veracruz.

- Gómez-Pompa, A. 1971. Posible papel de la vegetación secundaria en la evolución de la flora tropical. *Biotrópica* 3: pp.125-135.
- Gómez-Pompa, A., Vázquez-Yanes, C., Guevara, S. 1972. The Tropical Rain Forest: A Nonrenewable Resource. *American Association for the Advancement of Science* 177: pp. 762-765.
- Hinkelman, K. and Kempthorne, O. 1994: Design and analysis of experiments. Volume I: Introduction to experimental design. New York: John Wiley and Sons, Inc. 495 pp.
- Horst, W. J., Püschel, A. K. and Schmohl, N. 1997. Induction of callose formation is a sensitive marker for genotypic aluminium sensitivity in maize. *Plant Soil*. 192, 23-30.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2002). Estadísticas Ambientales, Superficie forestal por ecosistema según formación primaria y vegetación secundaria.
- Jackson, R., Mooney, H., and Schulze, D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Ecology*. National Academy of Sciences. 94:7362-7366.
- Jensen, J. R. 1996. *Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective*. Prentice Hall, United States. 318 p.
- Jensen, W. 1994. *Botánica*. 2ª. ed. Distrito, Federal, MX. McGRAW-HILL. 762 p.
- Joffre, R. 1987. *Contraintes du milieu et réponses de la végétation herbacée dans les dehesas de la Sierra Norte (Andalousie, Espagne)*. Thèse doctorat. CNRS-CEPE, Montpellier, 201 p.
- John B., Pandey H. N. and Tripathi R. S. 2002. Decomposition of fine roots of *Pinus kesiya* and turnover of organic matter, N and P of coarse and fine pine roots and herbaceous roots and rhizomes in subtropical pine forest stands of different ages. *Biol Fertil Soils*. 35:238–246.
- Jose S., Gillespie, A.R. and Pallardy S.G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*. 61: 237-255.
- Jourdan, C. and Rey, H. 1997. Modeling and simulation of the architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. I. The Model. *Plant and Soil*. 190: 217-233.
- Keyes M. R and Griek C. C. (1981) Above- and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Can. J. For. Res.* 11:599–605.
- LDFS (Ley general de desarrollo forestal sustentable). 2008. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero de 2003 y con última reforma (24-11-2008). Diario oficial de la federación. México.

- Lehmann J. 2003. Subsoil root activity in tree-based cropping systems. *Plant and soil*. 255: 319-331.
- López, M., Alfonso, N., Florentino A., Pérez, M. 2006. Dinámica del fósforo y reducción de aluminio intercambiable en un Ultisol sometido a manejo conservacionista. *Interciencia*. 31 (04):293-299.
- Lot H., A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del estado de Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. México, D.F. 217 p.
- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de herbario. Administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional Flora de México, A.C. México, D.F. 142 p.
- Madeira, M. V., Melo, M. G., Alexandre C. A. and 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: 163–175.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. *Plant Soil*. 134:1-24.
- Martínez-Estévez, M., Loyola-Vargas, V.M, y Hernández-Sotomayor, S.M.T. 2001. Aluminio: Metal tóxico para las plantas, ¿cómo actúa y cuáles son los mecanismos de tolerancia?, *Ciencia*. 52: 25-33.
- Mokany, K., Raison, R. J. and Prokushkin, A. S. 2006. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*. 12 84–96
- Morales, A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. In: Simposio Internacional-Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p.
- Moreno G., Obrador J. J., Cubera E. and 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. and Dupraz, C. (2005b). Competitive versus facilitative interactions in oak dehesas determined by management practices. *Agrofor. Syst.* 70: 25-40.
- Mulia, R. and 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.
- Joffre R, Rambal S and Ratte J P 1999 The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic. *Agroforest. Syst.* 45, 57–79.
- Neumann, G., George, T.S. and Plassard, C. 2009. Strategies and methods for studying the rhizosphere—the plant science toolbox. *Plant Soil*. 321: 431–456.
- NOM-021-RECNAT-2000. 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana, Que establece las especificaciones de estudios, muestreo y análisis fertilidad, salinidad y

clasificación de suelos. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SERMANAP).

- Obrador, J. J., García L, E., and 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. pp. 327-340.
- Obrador O. J. J. 2002. Evolución de las propiedades Edáficas de un suelo forestal Semi-Natural a las aplicaciones de un material encalante (subproducto de La industria azucarera). Univesidad de Salamanca, Facultad de química 75 p.
- Ochoa G, Hernández V. F., De Jong H. J. B. y Gurria G. F. D. 2007. Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de Intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema: Un estudio de caso en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 81: 65-80 .
- OEIDRUS.2005. (Sistema de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Tabasco). Estadística básica: http://www.oeidrustab.gob.mx/mapas/memoria_web/tipos_suelos.pdf. Tabasco
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco 2a. Ed. ISPROTAB-FUNDACION PRODUCE- COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. 118p.
- Franzluebbers A. J. and Stuedemann J. A. 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated croplivestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable Agric. Food Syst*. 22: 168-180.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pennington T., D. y J. Sarukhan. 1968. Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México. 413 p.
- Pennington, T. D., y J. Sarukhan, K. 2005 (Tercera Edición). *Arboles Tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies*. México 534 p.
- Purbopuspito, J. and van Rees, K. C. J. 2002 Root distribution at various distances from clove trees growing in Indonesia. *Plant Soil*. 239: 313–320.
- Pritchett, W. 1990. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Jonh Wiley. y Sons. Editorial Limusa, S.A. México. D.F. p 132-213.
- Radersma, S. and Ong C. K. 2004. Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid Kenya: Implications for agroforestry models. *Forest Ecol. Manag.* 188: 77–89.

- Rzedowski, J. y G.C. Rzedowski (editores) 1985-1990. Flora fanerogámica del Valle de México Vols. I, II y III. Instituto Politécnico Nacional, Escuela de Ciencias Biológicas e Instituto de Ecología, A.C. México.
- Rzedowski, J. y G. C. Rzedowski (editores) 1991-2004. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículos 1 a 130. Instituto de Ecología, A.C. y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Raich, J. 1983. Effects of Forest Conversion of the carbon budget of a tropical soil. *Biotropica* 15(3):177-184.
- Raich, J. 1980. Fine roots regrow rapidly after forest felling. *Biotropica*. 12(3).
- Samac, D. A. and Tesfaye M (2003) Plant improvement for tolerance to aluminium in acid soils a review. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 75: 189–207
- Sánchez P, L. 1984. La alimentación mineral de las plantas. Temas de divulgación. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Diputación de Salamanca, España.
- Sanchez A. P. 1995. The science of agroforestry. *Agrofor Syst.* 30:1–55.
- Serrano, E. 2003. Relation between functional root content and banana yield in Costa Rica. 2003. In: International Symposium Banana Root System: towards a better understanding for its productive management. Ed. F, E. Rosales, T. Moens y L. Vega. INIBAP-LAC.
- Silva J. S. and Rego F.C. 2003. Root distribution of a Mediterranean shrubland in Portugal. *Plant Soil.* 255: 529–540.
- SIAP-SAGARPA, 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: www.siap.gob.mx/.
- SSLS (Soil Survey Laboratory Staff). 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 2.0 United States Department of Agriculture.
- Suhayda, C. G., and A. Haug. 1986. Organic acids reduce aluminum toxicity in maize root membranes. *Physiol. Plant.* 68:189-95.
- Sumner, M.E., Fey, M.V. and Noble, A.D. 1991. Nutrient status and toxicity problems in acid soils. In: Ulrich B & Sumner ME (eds). *Soil Acidity*. pp. 149–182. Springer-Verlag, Berlin
- USDA (United.States Department of Agriculture) 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducido por: Lutens, A; Salazar Lea Plaza, JC. 82p.
- Van Noordwijk M and 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. and Hairiah A. 1996. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. In: C.K. Ong and P. Huxley (eds.), *Tree-crop interactions: A Physiological approach*. 319-364. CAB International, Wallingford.

- Vazquez M, N. 2003. Anatomy and morphology of monocotyledonous and Dicotyledonous roots. In: International Symposium Banana Root System: towards a better understanding for its productive management. Ed. F. E. Rosales, T. Moens y L. Vega. INIBAP-LAC. San José, Costa Rica.
- WRB, 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. 2007. 2da Edición, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos 103, FAO, ROMA.
- Zavala C., J. D. J. Palma-López, J. Jasso M., E. García L., A.I. Ortiz C., R. Ramos R., A. Guerrero P. Y S. Salgado G. 1998. Cartografía de suelos, uso actual y vegetación del Activo Cinco Presidentes, Tabasco. Informe técnico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 74 p más anexos.
- Zavala C., J. D. J. Palma-López, L. A. Aceves N., A. I. Ortiz C., E. García L., A. Ruiz B. Y A. Guerrero P. 1997. Cartografía de suelos, uso actual del suelo y microcuencas de las zonas piloto Samaria-Iride, Cactus-Nuevo Pemex, Giraldas y Cinco Presidentes, Tabasco. Informe técnico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco. 119 p más anexos.