



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**Composición de la materia orgánica en una
toposecuencia de la Reserva Ecológica El Edén
Quintana Roo y su relación con los factores
ambientales**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO

P R E S E N T A

MIGUEL ANGEL LÓPEZ GERVACIO

**DIRECTORA DE TESIS: DRA. ELIZABETH SOLLEIRO
REBOLLEDO**

ASESOR INTERNO: DR. GERARDO CRUZ FLORES



MÉXICO, D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por la oportunidad brindada durante los años de mi formación y por el orgullo de pertenecer a la máxima casa de estudios.

A la FES Zaragoza, por otorgarme la mejor educación, que me ha permitido convertirme en un ciudadano más comprometido en los ámbitos personal, familiar, social y laboral.

Al Instituto de Geología por permitirme realizar este proyecto de investigación así como las facilidades brindadas durante los últimos doce meses.

A la Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo por la confianza, apoyo y la valiosa oportunidad de realizar este proyecto bajo su dirección.

Al Dr. Gerardo Cruz Flores por apoyarme en mi formación académica y en la realización de esta investigación.

Al jurado conformado por: M. en C. Ma. De Jesús Sánchez Colín, Biol. Leticia López Vicente y Biol. J. Rubén Zulbarán Rosales, por sus comentarios para enriquecer este trabajo.

Al Departamento de Edafología, Dr. Sergey Sedov, M. en C. Jaime Díaz, Biol. René Hernández, por el apoyo en el trabajo de campo y laboratorio. Dra. Lourdes Flores. M. en C. Kumiko Shimada y Dra. Lucy Mora por la cuantificación de contenido de carbono orgánico.

A mis compañeros Dr. Héctor Cabadas Baez, M. en C. Alfredo González, M. en C. César Berkovich y al resto del grupo de seminario de edafología.

A mis amigos y compañeros de la Carrera de Biología, Alfred, Iván, Cohetero y Arthur por todos aquellos momentos compartidos y las carreras interminables e inolvidables.

A los proyectos Conacyt 52326-F, por la beca proporcionada y PAPIIT 113708, "Génesis, memoria y funcionamiento de los sistemas edáficos en los sistemas kársticos de Yucatán".

DEDICATORIA

Con todo mi amor y agradecimiento a:

Dios por guiarme y permitirme llegar a este punto de mi vida.

Mi padre Miguel López, por el inmenso apoyo y amor incondicional que me ha brindado durante toda mi formación académica y personal, y por la experiencia profesional y personal que me ha transmitido.

Mi madre Nereida Gervacio, por sus bendiciones, apoyo, amor confianza y por enseñarme a creer siempre en mí.

Mi hermana Nadia, por su paciencia, consejos, conocimientos, y por la motivación extra que ha sabido brindarme.

Kim, por su apoyo, comprensión, confianza e inspiración.

Sin su guía mi vida se encontraría en la dirección equivocada. Es por ustedes que estoy aquí y es por ustedes que seguiré adelante. GRACIAS !

“No hay peor forma de mutilación espiritual en un profesionista que la falta de cultura. Quien carezca de ella podrá ser un gran técnico en su oficio, un sabio en su ciencia, pero en lo demás no pasará de ser un bárbaro ayuno de lo que da la comprensión humana”

CONTENIDO

	Página
Resumen	1
	2
Capítulo I. Introducción	4
I.1 Justificación	5
I.2 Hipótesis	6
I.3 Objetivos	7
I.3.1 General	7
I.3.2 Particulares	7
Capítulo II. Antecedentes	8
II.1 Materia orgánica	8
II.2 Contenido de la materia orgánica del suelo	11
II.2.1 El factor tiempo	11
II.2.2 Influencia del clima	12
II.2.3 Vegetación	13
II.2.4 Material parental	14
II.2.5 Topografía	14
II.3 Sustancias húmicas	15
II.4 Clasificación de los humus	16
II.5 Tipos de humus	17
II.6 Descomposición de la materia vegetal	18
II.7 Humificación	20
II.8 Factores ecológicos	22
II.8.1 El medio	23
II.8.2 La materia prima	24
Capítulo III. Área de estudio	25
III.1 Reserva ecológica El Edén	25
III.2 Localización	26
III.3 Clima	26
III.4 Principales ecosistemas	27
III.5 Geología	29
III.6 Suelo	30
Capítulo IV. Metodología	31
IV.1 Delimitación de la zona de estudio	31
IV.2 Etapa de campo	31
IV.2.1 Muestreo	33
IV. 3 Etapa de laboratorio	33
IV.3.1 Pretratamiento de muestras	33
IV.3.2 pH activo	34

IV.3.3 Conductividad eléctrica	34
IV.3.4 Carbono orgánico total	34
IV.3.5 Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos	35
Capítulo V. Resultados	37
V.1 pH y conductividad eléctrica (CE)	42
V.2 Carbono orgánico total	44
V.3 Composición de la materia orgánica	44
V.4 Análisis de correlación	48
Capítulo VI. Discusión	52
VI.1 Distribución y composición de la materia orgánica en los suelos	52
VI.2 Factores que determinan la distribución y composición de la materia orgánica	53
VI.2.1 Relieve	53
VI.2.2 Clima	54
VI.2.3 Anaerobiosis	54
VI.2.3 pH	55
VI.3 Secuestro de carbono	55
Capítulo VII. Conclusiones	56
Literatura citada	58
Anexo	64

CUADROS

1. Propiedades y funciones de la materia orgánica del suelo (Summer,2002)	8
2. Composición promedio de algunas especies vegetales en % de masa seca (Lieth, 1990)	20
3. Descripción morfológica del perfil 1, en el humedal	37
4. Descripción morfológica del perfil 2, en el humedal	38
5. Descripción morfológica del perfil 3, en el humedal	39
6. Descripción morfológica del perfil 4, en el humedal	39
7. Descripción morfológica del perfil 5, en el humedal	40
8. Descripción morfológica del perfil 6, en la zona de transición	40
9. Descripción morfológica del perfil 7, en la zona de transición	41
10. Descripción morfológica del perfil 8, en selva	41
11. Descripción morfológica del perfil 9, en selva	42
12. Valores promedio de pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y ácidos húmicos y fúlvicos	43
13. Análisis de correlación	48

FIGURAS

1.	Descomposición de los restos orgánicos (Duchaufour, 1978)	10
2.	Localización de la zona de estudio	26
3.	Humedal y selva en la Reserva Ecológica El Edén	28
4.	Ubicación de los sitios de muestreo	32
5.	Muestra de suelo	33
6.	Aspecto de la determinación de Carbono orgánico total	34
7.	Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos en el laboratorio de Edafología y nutrición vegetal, FES Zaragoza, UNAM	35
8.	Procedimiento de extracción de AH y AF (Celli <i>et al</i> , 1997)	36
9.	Toposecuencia en la Reserva Ecológica El Edén	38
10.	Contenido de Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos	45
11.	Correlaciones entre Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos vs Carbono orgánico total, pH y Conductividad eléctrica.	49

RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en una toposecuencia de la Reserva Ecológica El Edén, Quintana Roo. con el objetivo de determinar, por medio de la extracción de ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF), los factores principales que controlan la composición de la materia orgánica de los suelos (MOS).

A lo largo de la toposecuencia se realizaron un total de nueve perfiles entre la parte más alta y más baja donde se encuentran tres ecosistemas distintos: selva, zona de transición entre selva y humedal, con ciertos periodos de inundación, y humedal.

La producción de sustancias húmicas (AH y AF) está influenciada por distintos factores como la vegetación, clima, topografía, entre otros. Lo anterior se logró apreciar en los resultados de carbono orgánico total (COT), debido a que estos porcentajes son más elevados en las zonas de inundación y más bajos en zonas menos inundadas, como la selva y una zona de transición, mientras que el contenido de AH y AF decrece y aumenta respectivamente en dichas zonas. Al correlacionar ambas variables se logró observar que se presenta un correlación significativa entre éstas, ya que al aumentar el porcentaje de COT disminuye el contenido de AH y AF y viceversa. Estos resultados son atribuidos, principalmente, a las pequeñas depresiones encontradas en el área de estudio, y a la condición de anaerobiosis, dentro del humedal y en las depresiones, la cual impide una rápida descomposición de la MO así como una humificación efectiva, ocasionando su acumulación. Por lo anterior, los perfiles con menor porcentaje de COT, al no encontrarse dentro del humedal o depresiones (selva y transición), presentan mayor contenido de AH y AF. Asimismo, se observó la predominancia de AF en todos los perfiles estudiados, lo cual muestra, de forma general, un proceso de humificación no favorecido ya que éstas moléculas han sufrido una descomposición menos avanzada que los AH.

En conclusión, los principales factores que determinaron la composición de la MO son el relieve, clima y la condición de anaerobiosis. Además, la investigación muestra claramente la importancia de los humedales en el secuestro de carbono, ya que éstos contienen un alto porcentaje del C almacenado en el suelo, obteniendo porcentajes de hasta 37 % en el humedal de la zona de estudio.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) comprende el mantillo, la fracción ligera, la biomasa de microorganismos, los compuestos orgánicos solubles y el humus.

Muchas de las propiedades del suelo están influenciadas o dependen de los contenidos de MO así como de la actividad biológica. Scott *et al.* (1999) mencionan que la formación y estabilización de agregados, capacidad de intercambio catiónico, circulación de nutrientes y la erodabilidad del suelo son características y procesos edáficos determinados por la MO y las propiedades biológicas de los suelos. De igual forma, la MO afecta favorablemente la aireación, capacidad de campo y la permeabilidad del suelo (Stevenson and Cole, 1999), de forma que incrementa la tasa de infiltración, reduce la escorrentía superficial, facilita la penetración de raíces, favoreciendo la acumulación de biomasa y la captura de carbono (Etchevers *et al.*, 2000).

De acuerdo con Stevenson (1994), la degradación de los residuos de plantas y animales en el suelo, constituye un proceso básicamente biológico, en el cual, el carbono es reciclado a la atmósfera como dióxido de carbono, el nitrógeno es transformado en una forma aprovechable por las plantas como amonio y nitrato; otros elementos asociados (fósforo, azufre y varios microelementos) son liberados en forma disponible para las plantas superiores. En este proceso, parte del carbono es asimilado en los tejidos microbianos (biomasa microbiana), y otra parte es convertido en sustancias húmicas estables (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas).

Por lo anterior se puede observar que la MOS presenta una estrecha relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo cual se ha sugerido que ésta es un buen indicador de la calidad del suelo (Doran and Parkin, 1994).

Debido a la importancia de la MOS, la presente investigación se centra en conocer la composición de la materia orgánica en los suelos de la Reserva Ecológica el Edén, ya que los suelos presentes en la zona de estudio poseen características particulares, como son los altos contenidos de MO.

Los suelos en la region Yalahau (dentro de la cual se encuentra la zona de estudio) son el reflejo del clima sobre los estratos geológicos. La interacción de estos dos elementos, rocas calizas afectadas por altas temperaturas y la gran cantidad de lluvia, han generado predominantemente suelos delgados, pedregosos y con poca materia orgánica (Sría. Gobernación y Gob. Edo. Q. Roo, 1987). Sin embargo, los suelos encontrados en la zona de estudio presentan altos contenidos de materia orgánica, principalmente en los humedales de la Reserva, por lo cual es relevante conocer la influencia de los factores ambientales sobre la cantidad y composición de la MO, ya que la variación en el contenido es atribuida principalmente a estos factores.

Los humedales son ecosistemas únicos, que se caracterizan por presentar inundaciones permanentes o lo suficientemente periódicas para promover alteraciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua y suelo (Vymazal, 1995; Kadlee and Knight, 1996). Se localizan en zonas muy húmedas, frías, templadas, tropicales, subtropicales, zonas áridas, cerca de las costas, ríos y lagos, e incluso en zonas montañosas. La acumulación de MO en los humedales depende del aumento de la productividad primaria, que generalmente se incrementa debido al periodo de inundación y disponibilidad de nutrimentos (Mitsch and Goseelink, 1986).

Los humedales tienen una gran importancia ecológica, ya que actúan como amortiguadores hidrológicos, regulando la humedad. Además, destacan entre los ecosistemas más productivos de la tierra y son fuente primordial de diversidad biológica (Gopal and Junk, 2000). Las interacciones entre los componentes físicos, químicos y biológicos de un humedal desempeñan varias funciones importantes como, el almacenamiento de agua, protección contra tormentas y mitigación de inundaciones, control de la erosión, recarga de acuíferos, entre otros; en general juegan un papel a escala global en los ciclos biogeoquímicos (Mitsch and Goseelink, 1986). A pesar de que los humedales cubren únicamente una pequeña porción de la superficie terrestre, tienen una gran importancia en el ciclo biogeoquímico ya que contienen el 68 % de las reservas de carbono del suelo (Schlesinger, 1997), por lo que son reconocidos como una reserva importante de carbono.

I.1 JUSTIFICACIÓN

Las sustancias húmicas son consideradas como los constituyentes más importantes de la materia orgánica del suelo, porque ellas influyen directa o indirectamente sobre la fertilidad de éste, al ejercer numerosas funciones que le son específicas, entre las que se destaca la formación de agregados estables (Swift, 1991). No obstante, la actividad de la materia orgánica en el suelo depende en gran medida de su calidad, más que de su cantidad, y es conocido que la composición y propiedades de la materia orgánica del suelo, como componente de éste, están influenciadas por los procesos naturales de formación de suelos, controlados por la interacción de los factores formadores (Stevenson, 1994).

Por tal motivo, es importante diagnosticar el contenido de sustancias húmicas, mediante el fraccionamiento de la materia orgánica, para con ello determinar cuales son los principales factores que lo controlan en una toposecuencia* de la Reserva Ecológica El Edén, ya que estos suelos presentan, como característica más relevante, poca profundidad pero un alto contenido de materia orgánica. En esta toposecuencia el cambio de relieve, aunque de unos cuantos metros de diferencias altitudinales, origina variaciones tipogenéticas en los suelos. Las partes elevadas, en una zona de selva poco alterada, poseen valores bajos de materia orgánica, en tanto que en las partes bajas (humedales) el porcentaje es alto. Se pretende, entonces, determinar la composición de la materia orgánica, para evaluar el papel que juega el medio en su formación.

* Una toposecuencia es una secuencia de suelos relacionados entre sí, los cuales difieren, uno de otro, principalmente debido a la topografía como factor de formación de estos. Este concepto involucra, básicamente, connotaciones morfológicas como son los cambios en el color del suelo debido a las condiciones cambiantes de humedad (Schaeztl y Anderson, 2005).

I.2 HIPÓTESIS

La composición de la materia orgánica en cada uno de los sitios de muestreo en la toposecuencia presentará diferencias entre sí ya que cada sitio se encuentra en condiciones y características diferentes las cuales determinan el contenido de sustancias húmicas en el suelo, como respuesta a los factores ambientales y estacionales.

I.3 OBJETIVOS

I.3.1 General:

Realizar la extracción de sustancias húmicas de una toposecuencia de suelo en la Reserva Ecológica el Edén, Quintana Roo, y determinar su relación con los factores ambientales.

I.3.2 Particulares:

- Evaluar qué fracción de la materia orgánica (AH, AF) es más dominante y a qué se debe esta dominancia.
 - Comparar el contenido de AH y AF de cada sitio muestreado en la toposecuencia.
 - Evaluar cuáles son los factores que determinan la composición de la materia orgánica del suelo.
-

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

II.1 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo (MOS) es definida como la fracción orgánica del suelo, residuos de plantas y animales no descompuestos (SSSA, 1987). La materia orgánica es el componente mas complejo, dinámico y reactivo del suelo, constituyente importante que contribuye al crecimiento y desarrollo de las plantas por medio de su efecto sobre sus propiedades químicas, biológicas y físicas. Además tiene una función nutricional la cual sirve como fuente de N, P, y S para el crecimiento de las plantas; una función biológica la cual afecta profundamente las actividades de la microflora y de microorganismos y tiene una función física que promueve una buena estructura del suelo, por lo cual mejora la aereación y retención de agua (Stevenson, 1994). La MOS está implicada en la cementación de las partículas del suelo dentro de unidades estructurales (agregados), metales queláticos, contribuye a la capacidad de intercambio catiónico y a la mineralización de importantes nutrientes de plantas y afecta la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de pesticidas.

En el cuadro 1 se presentan algunas de las funciones más importantes que ejerce la MO sobre el suelo.

Cuadro1. Propiedades y funciones de la materia orgánica del suelo (Summer, 2002).

Propiedad	Función
<i>Propiedades biológicas</i>	
Reserva de energía	La MOS provee energía metabólica la cual maneja los procesos biológicos del suelo.
Fuente de macronutrientes	La mineralización de la MOS puede influenciar (positiva o negativamente) el tamaño de la planta según los depósitos de macronutrientes (N, P y S).
Recuperación del ecosistema	La formación de depósitos de MOS y de nutrimentos puede mejorar la capacidad de

un ecosistema de recuperarse después de alguna perturbación natural o antropogénica.

Estimulación e inhibición de actividades enzimáticas y crecimiento de plantas y microorganismos La actividad enzimática encontrada en suelos y el crecimiento de plantas y microorganismos puede ser estimulado o inhibido por la presencia de compuestos húmicos del suelo.

Propiedades físicas

Estructura del suelo La MOS puede cementar las partículas del suelo dentro de agregados estables en escalas que van desde $<2\mu\text{m}$ para moléculas orgánicas hasta mm para las raíces de plantas.

Retención de agua MOS puede afectar directamente la retención de agua debido a su capacidad de retener hasta 20 veces su peso en agua e indirectamente a través de su impacto sobre la estructura del suelo.

Baja solubilidad Asegura que los materiales orgánicos permanezcan retenidos en el suelo y no sean lixiviados.

Color El color oscuro que le imparte al suelo puede alterar las propiedades termales del suelo.

Propiedades químicas

Capacidad de intercambio catiónico La carga elevada característica de la MOS mejora la retención de cationes (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+)

Capacidad buffer y efectos de pH En suelos ácidos a alcalinos la MOS puede realizar un papel buffer y ayuda a mantener

Quelatación

condiciones aceptables de pH en el suelo. Los complejos estables formados con metales mejoran la disolución de los minerales del suelo, reduce la pérdida de micronutrientes, reduce la toxicidad potencial de metales y aumenta la disponibilidad de fósforo.

Interacción con pesticidas

MOS puede alterar la biodegradabilidad y actividad de pesticidas en el suelo.

Los restos vegetales de toda naturaleza que caen sobre el suelo, constituyen la fuente esencial de la materia orgánica: desde su llegada al suelo son descompuestos más o menos rápidamente por la actividad biológica. La materia orgánica fresca es así transformada poco a poco (Fig. 1), dando lugar, por una parte, a elementos minerales solubles o gaseosos, tales como NH_3 , NO_3H , CO_2 (mineralización o biodegradación) y por otra, a complejos coloidales (complejos húmicos, humus en el sentido más estricto) que son relativamente estables y resistentes a la acción microbiana (humificación); estos compuestos húmicos se mineralizan a su vez, pero mucho más progresivamente que la materia orgánica fresca (Wittich, 1952; Henin and Dupuis, 1945; Barbier, 1951).

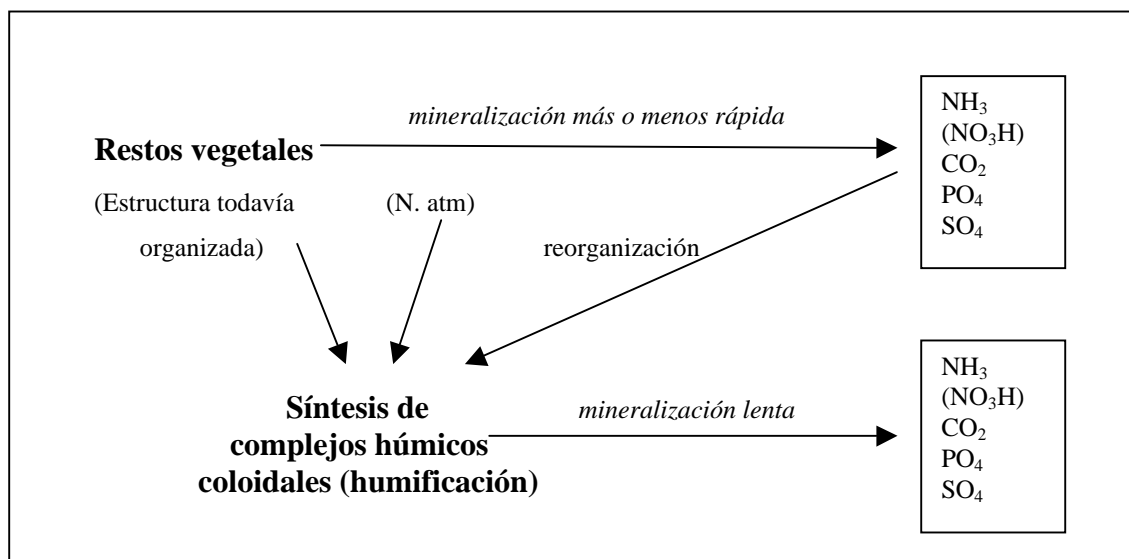


Figura 1. Descomposición de los restos orgánicos (Duchaufour, 1978).

Se reconoce a la MOS como uno de los elementos que mejora más claramente la productividad y la calidad ambiental (Franzluebbers, 2002), ya que es fundamental en la formación de agregados y con ello a la mejor estructura del suelo (Six *et al.*, 2002). Los ácidos orgánicos que son producidos promueven el intemperismo y forman compuestos queláticos los cuales aumentan la solubilidad de algunos iones en el suelo (Birkeland, 1984).

II.2 CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

De acuerdo con Stevenson (1994), el contenido de MO de los suelos es muy variable. Un típico suelo de pradera (Molisol) puede contener de 5 a 6% de MO en los 15 cm superiores, mientras que un suelo arenoso aproximadamente 1%. Un suelo pobremente drenado a menudo tiene contenidos de MO próximos al 10% o más y los suelos tropicales (Oxisoles) son conocidos por sus bajos contenidos de MO. Esta variación en el contenido de MO en los suelos ha sido evaluada en diversas investigaciones, y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores como: tiempo, clima, vegetación, material parental y relieve.

II.2.1 EL FACTOR TIEMPO

En suelos bien drenados la MOS no se acumula indefinidamente, y con el tiempo se alcanza un nivel de equilibrio, el cual es gobernado por los factores de formación del suelo (clima, topografía, vegetación y material madre). Las numerosas combinaciones bajo las cuales los distintos factores operan explican la gran variabilidad en el contenido de MO de los suelos. Se ha obtenido información sobre tasa de acumulación de MO en

los suelos a partir de estudios realizados sobre secuencias de tiempo o cronosecuencias sobre flujos de lodo, dunas arenosas, cortes de caminos y de glaciares recientes. En estos trabajos se observa que la tasa de acumulación de MO es rápida durante los primeros años, disminuyendo lentamente y alcanzando un equilibrio en un período de tiempo variable -100 años para materiales de textura fina hasta algo más de 1500 años para áreas arenosas (Stevenson, 1994).

II.2.2 INFLUENCIA DEL CLIMA

El clima es el factor simple más importante, el cual determina el ordenamiento de las plantas en una localidad dada, la cantidad de material vegetal producido y la intensidad de la actividad microbiana en el suelo. Por lo tanto este factor juega un papel destacado en determinar los niveles de materia orgánica.

Los suelos de praderas exceden a todos los otros suelos bien drenados en el contenido de humus; desiertos, semidesiertos y ciertos suelos tropicales tienen el menor contenido de dicho elemento. Suelos formados bajo drenaje restringido (Histosoles e Inceptisoles), no siguen un patrón climático. En estos suelos la deficiencia de O₂ previene la completa destrucción de los residuos orgánicos por los microorganismos, en un amplio rango de temperaturas. En trabajos realizados por Jenny, (1930 y 1931) (citados por Stevenson, 1994) sobre el efecto del clima sobre el nivel de MO y N en el suelo, se comprobó que a través de un transecto norte-sur de la región semi-húmeda central de E.U. el contenido de N del suelo decrece 2 o 3 veces por cada aumento de 10° C en la temperatura media anual. Si bien esta relación no puede ser extrapolada directamente hacia otras áreas, es conocido ampliamente que los suelos de las zonas climáticas cálidas generalmente tienen contenidos bajos de materia orgánica. Se han dado varias explicaciones para el descenso en el suelo del contenido de materia orgánica con un incremento de la temperatura media anual. Jenny intentó relacionar los niveles de MO con el efecto de la temperatura sobre la actividad microbiana, pero esta propuesta puede ser criticada por no considerar los efectos de la temperatura sobre la fotosíntesis (producción de materia prima para la síntesis del humus). Senstius, (1958) (citado por Stevenson, 1994) atribuyó los bajos niveles de materia orgánica en los suelos tropicales a

la alta actividad de los microorganismos por las altas temperaturas.

El efecto del incremento de la lluvia (el componente humedad del clima) sobre el contenido de MO del suelo es promover mayor crecimiento vegetal, y por lo tanto la producción de grandes cantidades de materia prima para el humus. La cantidad de material vegetal producida así como el subsiguiente retorno al suelo puede variar desde una traza en regiones áridas y árticas, a varias toneladas por hectárea en climas cálidos donde el crecimiento vegetal ocurre durante todo el año. Tanto las raíces como las partes aéreas sirven como fuente de energía para la síntesis de humus (Stevenson, 1994).

II.2.3 VEGETACIÓN

Es sabido que permaneciendo constantes los otros factores, el contenido de MO de los suelos de praderas es sustancialmente mayor que para los suelos forestales.

Las razones dadas incluyen:

- Se producen mayores cantidades de materia prima para la síntesis del humus bajo pasturas.
- La síntesis del humus ocurre en la rizósfera, la cual es más extensa bajo vegetación de pradera.
- Una aireación restringida ocurre bajo pasturas, por lo tanto contribuye a preservar la materia orgánica.

En el caso de los suelos forestales, existen diferencias en la distribución en el perfil de materia orgánica debido a la forma en la cual la cama de hojas se mezcla con la materia mineral. En suelos formados bajo forestación caduca en lugares bien drenados y con buen aporte de calcio (Alfisoles), la cama de hojas se mezcla completamente con el horizonte mineral por medio de la actividad de las lombrices y otros organismos de la microfauna. En este caso las partículas minerales en los primeros 10 a 15 cm del suelo se recubren con humus. Por otro lado en sitios con bajo contenido en calcio disponible (Spodosoles) la cama de hojas no se mezcla con el horizonte mineral, pero forma un manto sobre la superficie del suelo.

Un horizonte orgánico de un humus ácido (mor) se acumula en la superficie del suelo y solo la porción más alta del horizonte mineral se colorea con humus (Stevenson, 1994).

II.2.4 MATERIAL PARENTAL

En este factor influye particularmente la textura. Es bien conocido el hecho de que para una zona climática dada y provista de vegetación y topografía constante, el contenido de materia orgánica depende especialmente de las propiedades texturales. La fijación de sustancias húmicas en forma de complejos órgano-mineral permite conservar la materia orgánica. Así, suelos de textura pesada tienen mayor contenido de materia orgánica que los suelos de textura media, los cuales a su vez tienen un contenido de materia orgánica más alto que los suelos arenosos.

La materia orgánica tiene características, tales como resistir el ataque por los microorganismos y remoción por los extractantes químicos, lo cual sugiere que esto ocurre en íntima asociación con la materia mineral.

En esta retención también influye el tipo de mineral arcilloso presente. Arcillas montmorilloníticas, las cuales tienen alta capacidad de absorción de las moléculas orgánicas, son particularmente efectivas en proteger los constituyentes nitrogenados contra el ataque de los microorganismos (Stevenson, 1994). En suelos volcánicos la relación entre compuestos alofánicos y MO parece protegerla de la descomposición microbiana (Shoji *et al.* 1993).

II.2.5 TOPOGRAFÍA

Según Stevenson (1994), la topografía o relieve afecta el contenido de materia orgánica a través de su influencia sobre el clima, escurrimiento, evaporación y transpiración. Variaciones locales en topografía tales como lomas, laderas, depresiones, modifican el microclima de la porción más alta del suelo.

Suelos que están en depresiones, donde el clima es localmente húmedo, tienen mayor contenido de materia orgánica que aquellos que aparecen en lomas, donde el clima es localmente árido.

Naturalmente suelos húmedos y pobremente drenados son usualmente altos en

materia orgánica debido a las condiciones anaeróbicas las cuales prevalecen durante períodos húmedos del año, previendo la destrucción de la materia orgánica.

II.3 SUSTANCIAS HÚMICAS

La MOS tradicionalmente ha sido separada en ácidos fúlvicos y húmicos que se distinguen entre sí por sus diferentes solubilidades en soluciones ácidas y básicas (Yan y Wang, 1996). Las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas) son el grupo de macromoléculas más activas del suelo (la capacidad de intercambio catiónico de la MOS es entre 2 y 30 veces mayor que la de los coloides minerales del suelo) en el ambiente e interactúan prácticamente con todos los otros componentes orgánicos e inorgánicos (Yan and Wang, 1996).

Las sustancias húmicas son los principales constituyentes de la materia orgánica presente en aguas, suelos y sedimentos, formadas por la degradación química y enzimática de los residuos de plantas y animales y por la actividad sintética de microorganismos (Whitby and Schnitzer, 1978). En los suelos las sustancias húmicas se producen bajo diferentes condiciones de vegetación, temperatura y actividad biológica, por lo que pueden esperarse diferencias en las sustancias húmicas que se originan. En climas tropicales, se han caracterizado sustancias húmicas de suelos formados bajo diferentes condiciones, tales como tipo de vegetación, clima y actividad orgánica (Paolini, 1980; Fassbender y Bornemisza, 1987, Lo Mónaco *et al.*, 1994; Ruiz, 1995; Lo Mónaco y López, 1996; Rivero *et al.*, 1997; López *et al.*, 1999).

Las sustancias húmicas son la fuente más importante del carbono orgánico en los ambientes terrestres y acuáticos y desempeñan un papel dominante en la naturaleza. Contribuyen al crecimiento de plantas, son responsables de la estructura y de las características fisicoquímicas del suelo, y están implicadas en la mayoría de los fenómenos superficiales que ocurren en el suelo. Las sustancias húmicas pueden ser fraccionadas en ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos cafés (AHC), ácidos húmicos grises (AHG) y huminas (HU), según su solubilidad a diferentes valores de pH. Los AF son solubles a cualquier pH, los AHC y AHG son solubles a pH 2 y pH 7 respectivamente y las HU son insolubles a cualquier pH. La solubilidad de estas

fracciones está cercanamente relacionada a la masa molecular, complejidad estructural, polaridad molecular y composición química. Su carácter coloidal y alta funcionalidad superficial les hacen los adsorbentes excelentes, poseyendo una capacidad superior para la retención de agentes contaminadores iónicos y moleculares, y para facilitar los procesos de movilización/inmovilización de éstos en el ambiente. También, demuestran la retención fuerte de gases atmosféricos tales como O₂, N₂, y CO₂, haciéndolos disponibles para los microorganismos y las plantas (Alvarez *et al*, 2004).

La contribución de las sustancias húmicas es vital para la estabilidad de agregados además de que participan en procesos de intercambio iónico (ionización de H, en grupos carboxilo, fenólico u OH⁻ que genera cargas negativas o bien, la inducción de cargas positivas mediante protonación de grupos amino), hidrólisis que influye en la liberación de nutrientes (N, P y S entre los más importantes) y también intervienen como detoxificadoras del suelo al formar complejos de coordinación con sustancias químicas orgánicas aromáticas sintéticas (Hayes, 1997).

II.4 CLASIFICACIÓN DE LOS HUMUS

La clasificación de los humus se basa ante todo en la morfología de los horizontes orgánicos, que es la resultante de los dos procesos fundamentales de la evolución de la materia orgánica: mineralización y humificación. La naturaleza de los productos formados y su grado de unión con la materia mineral, que condicionan la estructura macroscópica e incluso la microestructura, son igualmente elementos importantes de esta clasificación (Duchaufour, 1978).

Los factores biológicos ofrecen una importancia muy particular; la base de los procesos de mineralización y de humificación no es solamente la actividad microbiológica, sino también la actividad animal (lombrices, artrópodos) que condiciona la división mecánica, más o menos intensa, de los restos vegetales, su incorporación a la materia mineral y la formación de complejos organominerales. De estos factores biológicos dependerá la importancia relativa de los dos horizontes característicos de los humus: A_o, horizonte orgánico superpuesto al suelo mineral, incompletamente descompuesto, con estructura todavía organizada, y A₁ o A_h, horizonte mixto, a la vez

mineral y orgánico, de estructura y aspecto muy variables según el tipo de humus, resultado de la incorporación al suelo de materia orgánica transformada por la acción biológica (Duchaufour, 1978).

El horizonte A_o cuando tiene mucho espesor puede estar subdividido en varias capas: hojarasca (A_{oo} o L), capa de fermentación (F) y capa llamada humificada, de humus fino no estructurado (H).

Las condiciones microclimáticas de evolución de los humus no son menos esenciales, ya que influyen en los dos procesos básicos: mineralización y humificación (explicados mas adelante detalladamente). Esta consideración ha llevado a la mayoría de los clasificadores a distinguir los humus formados en aerobiosis que comprenden tres grandes tipos: mull, moder y mor, y los humus que se desarrollan en anaerobiosis dominante, los humus hidromorfos: anmoor (anaerobiosis temporal) y turba (anaerobiosis permanente) (Duchaufour, 1978).

Es importante definir con precisión la morfología de los tipos de humus fundamentales: mull, moder, mor, anmoor y turba, ya que existen frecuentes confusiones al respecto; basándose en los trabajos de Franz (1960) y de Lafond (1952), se les puede definir, por una parte, morfológicamente, según el grado de mezcla entre la materia orgánica y la materia mineral, y por otra, biológicamente, por la actividad de los organismos que dirigen su formación.

II.5 TIPOS DE HUMUS

HUMUS FORMADOS EN MEDIO AIREADO:

- *Morfología y grado de mezcla con la materia mineral*

MOR: Incorporación muy débil o nula de la materia orgánica a la materia mineral; A_o muy neto y con mucho espesor.

MODER: Incorporación incompleta: no hay formación de un complejo húmico-arcilloso; microestructura a base de microagregados orgánicos, yuxtapuestos a las partículas minerales.

MULL: Incorporación total, con formación de un complejo húmico-arcilloso; no hay A₀; microestructura a base de agregados húmico-arcillosos de 0.1 a 1 mm.

- *Bioquímica*

MOR: Transformación muy pequeña de los restos vegetales, es efectuada principalmente por hongos, sobre todo mixomicetos.

MODER: Transformación biológica fuerte, por influencia de los artrópodos (asociados a hongos y bacterias).

MULL: Transformación biológica fuerte, por la acción de lombrices (asociadas a las bacterias).

HUMUS FORMADOS EN ANAEROBIOSIS:

- *Morfología y grado de mezcla con la materia mineral*

TURBA: Incorporación débil o nula de la materia orgánica a la materia mineral; estructura fibrosa.

ANMOOR: Incorporación, si no total, al menos efectiva, sobre 10 a 20 cm; estructura maciza.

- *Bioquímica*

TURBA: Transformación bioquímica muy débil.

ANMOOR: Transformación bioquímica intensa por la acción alternante de organismos aerobios y anaerobios; humificación muy fuerte.

II.6 DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA VEGETAL

En el cuadro 2 se presenta la composición promedio de algunas especies vegetales, las cuales, junto con los factores mencionados a continuación, son determinantes en la rápida o lenta descomposición de la materia mineral. Esta descomposición resulta de procesos esencialmente biológicos, por tanto depende de la actividad biológica general del medio, ligada sobre todo al pH, y de las condiciones relativas de aerobiosis y de anaerobiosis.

En medio muy activo y bien aireado, la mineralización de la materia orgánica fresca es rápida, la de la celulosa progresa más rápidamente que la de la lignina, que se transforma en ácidos húmicos y, sobre todo, en humina no extraíble. La proteólisis y la amonificación liberan nitrógeno mineral, una parte del cual queda disponible, siendo integrada la otra parte en los procesos de humificación (Duchaufour, 1978).

En medio poco activo medianamente aireado, la mineralización es lenta y libera muy poco nitrógeno mineral. La lignina desaparece en primer lugar por la acción de los lignívoros; libera monómeros, polifenoles solubles que se suman a los compuestos tánicos, con frecuencia abundantes en estos medios; estos polifenoles forman con las proteínas complejos muy resistentes a la acción microbiana: son los complejos polifenolproteínas que a menudo impregnan las membranas celulósicas de los tejidos vivos, retrasando su descomposición (Handley, 1954).

La anaerobiosis permanente retarda el conjunto de los procesos de mineralización, sobre todo de la lignina con relación a los hidratos de carbono, de forma que la materia orgánica mal descompuesta se acumula en espesores bastante grandes (turberas, ciertos anmoor). Las alternancias estacionales microclimáticas, aerobiosis y anaerobiosis relativa, desecación y humectación consecutiva, aceleran los procesos de mineralización y humificación. Bernier (1960), Birch (1958), Nguyen *et al* (1969) han demostrado que la desecación, seguida de una rehumectación, libera compuestos solubles más fermentables, ejerce una “acción de superficie” estimulante y actúa de la misma forma, a este respecto, que una esterilización parcial seguida de una reinoculación: la descomposición resulta así acelerada (Duchaufour, 1978).

Cuadro 2. Composición promedio de algunas especies vegetales en % de masa seca (Lieth, 1990).

Composición promedio de algunas especies (partes) vegetales en % de masa seca							
especie (parte)	azúcar almidon	proteínas	grasas, ceras, resinas	celulosa	hemicelulosa	lignina	sales
hojas de trébol	35	20	4	13	7	9	12
paja de cereales	3.0	2.0	2.0	39	25	24	5.0
Árboles caducifolios							
hojas	23	6.4	2.8	37	14	12	4.2
madera	0.8	3.2	2.3	47	24	20	0.4
raíces	< 2	3.7	2.4	36	19	33	2.6
Coníferas							
hojas	16	4.0	5.8	44	9	18	4.2
madera	1.1	1.3	7.7	44	15	30	0.3

II.7 HUMIFICACIÓN

Se puede definir la humificación como el conjunto de los procesos de síntesis que conducen a la formación de compuestos húmicos coloidales de neoformación, a expensas de los productos más o menos solubles resultantes de la descomposición de la materia orgánica fresca (Duchaufour, 1978).

La humificación lleva a la formación de moléculas orgánicas complejas, con frecuencia insolubles, los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos; éstos últimos menos polimerizados que los ácidos húmicos, los fúlvicos son de la misma naturaleza que los primeros: se pasa de unos a otros por aumento de la masa del núcleo aromático.

La humificación resulta, por una parte, de procesos puramente físicoquímicos: oxidación y polimerización por influencia de la aireación y de la desecación y fijación de NH_3 o NH_2 por los radicales COOH , y por otra parte, de procesos biológicos que activan los primeros; estos dos tipos de procesos intervienen en grado muy variable según los casos.

- a) **Humificación abiológica.** Se produce en un medio biológicamente muy poco activo, ya sea muy ácido o mal aireado. La insuficiencia de bases y de oxígeno

retarda considerablemente la actividad de los microorganismos; ésta se limita a los procesos de descomposición de la materia orgánica fresca, mientras que los procesos de síntesis son casi inexistentes: la humificación, lenta e incompleta, conduce a compuestos poco polimerizados, fácilmente dispersables y con frecuencia solubles; la lignina, por la acción de los lignívoros acidófilos, se fragmenta y da monómeros poco polimerizados. En estas condiciones, se observa una acumulación de polifenoles solubles, formados a partir de compuestos tánicos y de productos de degradación de la lignina. Estos polifenoles forman con las proteínas complejos que protegen la celulosa y retardan su descomposición (Handley, 1954).

b) Humificación bioquímica. Este tipo de humificación caracteriza los medios biológicamente activos; es necesario distinguir dos casos, de acuerdo a su composición.

- *Humificación a base de lignina:* Por influencia de los procesos de oxidación de la lignina, los grupos carboxilos COOH se multiplican; las proteínas sufren una proteólisis, con liberación de aminoácidos y NH₄OH, que se fijan sobre los núcleos cíclicos de la lignina transformada y de los compuestos tánicos polimerizados. La humificación es tanto más rápida y más intensa cuanto mejor aireado y más rico en calcio es el medio: la fijación de grupos aminados y la polimerización de los polifenoles están favorecidas por la abundancia de iones calcio (Coulson *et al*, 1960) y la riqueza en nitrógeno del medio; además, el pH actúa indirectamente sobre la transformación de la lignina por mediación de la actividad de los microorganismos.
 - *Humificación a base de productos celulósicos y otros hidratos de carbono:* Es la humificación de origen esencialmente biológico, que caracteriza únicamente los mull biológicamente muy activos; en estos humus, los dos procesos se desarrollan de forma concurrente: lignina e hidratos de carbono participan ambos en la formación de los ácidos húmicos. La lignina da lugar a compuestos de tipo “heredado”,
-

débilmente transformados (oxidación), en los que domina la humina, mientras que los hidratos de carbono sufren, después de una hidrólisis previa, una transformación completa y son origen de ácidos húmicos de neoformación, por tanto, de procedencia muy diferente.

c) Balance y ecología de la humificación. La cantidad global de compuestos húmicos que contiene el suelo caracteriza su grado de humificación; traduce un estado de equilibrio entre las ganancias y las pérdidas, entre la producción y la biodegradación de estos compuestos húmicos; es evidente que la cantidad de humus del suelo es tanto más elevada cuanto más abundante y más rápida es su formación, y también cuanto más eficazmente resista a la descomposición microbiana.

La condición previa para una buena humificación es, ante todo, una fuerte actividad biológica global, ligada principalmente a la aireación y a la riqueza en calcio y en nitrógeno del medio, para una buena humificación es indispensable una descomposición rápida de la materia prima.

Aunque la actividad biológica global es un factor importante, no es suficiente para asegurar una humificación fuerte, no produce más que la fase inicial, esencialmente biológica, que debe proseguirse por una “maduración” lenta, condición indispensable para la formación de un humus estable; los compuestos húmicos todavía “jóvenes”, de neoformación microbiana, van a sufrir a su vez una biodegradación generalmente progresiva, pero cuya velocidad puede ser, sin embargo, variable de un suelo a otro; la maduración tiene por efecto hacer evolucionar algunos de estos compuestos hacia una forma más polimerizada y más estable (Duchaufour, 1978).

II.8 FACTORES ECOLÓGICOS

Todo factor que modifique la actividad biológica en uno u otro sentido provoca la aceleración o el retraso de la humificación e influye la evolución del humus en una dirección dada. Para el estudio de estos factores se presentan: los factores externos (el medio) y los factores internos (naturaleza de la materia prima que da lugar al humus).

II.8.1 El medio

- *Factores climáticos:* La descomposición rápida de la materia orgánica está condicionada por una temperatura elevada y una humedad suficiente, pero no excesiva, de forma que la aireación permanezca favorable. El clima local refuerza la acción del clima general, en un sentido o en otro: en montaña, a poca altitud, la descomposición de la materia orgánica se retrasa por el exceso de insolación que provoca la sequía; en las grandes alturas, por el contrario, el humus bruto se forma con preferencia en las exposiciones frías, como consecuencia de la insuficiencia de calor y de radiación. Es asimismo importante la influencia de las variaciones rápidas del microclima con el tiempo; las talas de bosque y los incendios aclaran bruscamente un suelo anteriormente sombreado, acelerando la descomposición del humus, la alternancia de sombra y luz provoca también una alternancia de fases de aprovisionamiento y de mineralización: un humus bruto libera, súbitamente, sus elementos nutritivos inmovilizados, y de esta forma, el ciclo normalmente lento, puede ser acelerado bruscamente en ciertos periodos.
- *La estación:* Corresponde a las condiciones ecológicas locales que dependen principalmente de la roca madre y de la topografía. Son esenciales dos factores: a) las condiciones de drenaje y de aireación: el medio local puede modificar las condiciones de clima general y contribuir a crear el microclima interno del suelo; b) la riqueza química de la roca madre, principalmente en lo que concierne al calcio.

Aireación y economía del agua. El medio óptimo es un medio suficientemente aireado, pero que presenta fases cortas de anaerobiosis poco acentuadas; además, algunas fases de desecación son igualmente útiles para la humificación. Un medio demasiado aireado y excesivamente seco condiciona una mala mineralización y una humificación deficiente. Inversamente, un medio mal aireado, que provoca una anaerobiosis relativa, con frecuencia es la causa de una humificación defectuosa. En medio ácido, la descomposición de la hojarasca se hace muy lenta y se forma un horizonte A₀ de humus bruto. En los casos extremos se producen humus francamente hidromorfos, anmoor, turbas.

Contenido en bases de la roca madre. Entre los iones básicos liberados en el curso de la alteración, los bivalentes, calcio y magnesio, son los que desempeñan el papel principal, menos móviles que los monovalentes, saturan los radicales ácidos que se forman en el curso de la humificación y elevan el pH, siendo las microfloras neutrófilas generalmente más activas que las microfloras acidófilas. En medio poco ácido, están favorecidos los dos procesos, mineralización y humificación.

II.8.2 La materia prima

Se trata de la materia orgánica fresca que retorna al suelo y que está estrechamente ligada a la vegetación. Entre las propiedades de la materia orgánica fresca, dos parecen ser las más importantes: el contenido en nitrógeno y materia hidrolizable. El contenido en bases más bien parece tener una importancia secundaria.

- *Contenido en nitrógeno de las hojas:* Las especies vegetales, cuyas hojas se caracterizan por una relación C/N baja, se llaman “mejorantes” y dan una hojarasca que se descompone activamente, mientras que las especies llamadas acidificantes, cuyas hojas son pobres en nitrógeno (C/N elevado), tienen tendencia a formar un moder o un mor.
 - *Cantidad de las materias hidrosolubles:* Cuanto más elevado es este contenido, más favorece la vida microbiana y, por consiguiente, la velocidad de mineralización. Lossaint (1959) ha demostrado el paralelismo que existe entre el contenido en materia orgánica soluble y la velocidad de mineralización del humus.
-

CAPÍTULO III

ÁREA DE ESTUDIO

III.1 Reserva Ecológica El Edén

Establecida en 1990, El Edén es una de las primeras reservas ecológicas privadas dedicadas a la investigación para la conservación biológica en México. Uno de los propósitos fundamentales de la Reserva es el de implementar en la región una zona de conservación y desarrollo sostenible, mediante el establecimiento de unidades adicionales de conservación tanto de carácter privado como gubernamental, en base a la tenencia de la tierra; los estudios subsecuentes que permitan proponer su establecimiento o adquisición; a la sugerencia y establecimiento de normas y reglamentos sobre el uso del suelo, ordenamiento ecológico; y al desarrollo de esquemas de manejo de recursos convencionales y alternativos adecuados a las condiciones ecológicas, socioeconómicas y políticas de la region (Lazcano-Barrero, *et al.* 1992).

El Edén forma parte de la bioregión conocida como Yalahau que abarca el extremo noreste de la Península de Yucatán. Esta bioregión incluye además las áreas protegidas de Ría Lagartos, Isla Contoy, y la recientemente decretada reserva de Yum Balam, un humedal considerado de importancia internacional (Lazcano-Barrero, *et al.* 1992).

La porción continental de esta bioregión tiene una extensión superior a las 250 mil hectáreas formadas por complejas asociaciones vegetales no fragmentadas. Dentro de la Península de Yucatán, la zona está considerada como la de mayor diversidad biológica y mayor número de endemismos (Barrera-Marín, 1964; Lee, 1980).

III.2 Localización

La Reserva Ecológica el Edén Quintana Roo está localizada en los 21° 13' de latitud norte y 87° 11' de longitud oeste. Se encuentra aproximadamente a 16 Km. al noroeste de la ciudad de Cancún y a 28 Km. aproximadamente, al noreste de la ciudad de Leona Vicario, en las afueras de la bioregion conocida como "Yalahau" en la punta noreste de la Península de Yucatán (Fig. 2). Tiene una extension de 2, 000 ha y un intervalo altitudinal de los 5 a los 10 msnm (www.uv.mx/CITRO/el eden/location/whereweare.htm).

Figura 2. Localización de la zona de estudio.

III.3 Clima

Hacia el oriente del estado de Yucatán y la mayor porción de Quintana Roo se tiene el tipo climático subhúmedo con regimen de lluvias intermedio y alto porcentaje de lluvia invernal (<http://www.crupy-uach.org.mx/zona/>). En la región donde se encuentra la Reserva Ecológica El Edén el clima es cálido y húmedo. Con una temperatura media

anual de 25 °C, la máxima temperatura, en el mes de mayo, es de 28 °C. La precipitación anual es de 1, 126 mm. La precipitación se concentra en verano, de mayo a octubre, alcanzando 915 mm (García, 1988).

III.4 Principales ecosistemas

Entre los principales ecosistemas de la Reserva se encuentran el **bosque tropical semideciduo** dominado por árboles de hasta 15 m. de altura, con diferentes especies de arbustos, lianas y epifitas. Los árboles más abundantes son el *Manilkara zapota*, *Bursera simaruba*, *Cedrela mexicana* y *Brosimum alicastrum* entre varios más.

Bosque secundario semideciduo, éste es el bosque más común en los suelos no inundados, originado por perturbación natural o humana de los bosques tropicales.

Bosque temporalmente inundado, son bosques dominados por *Haematoxylon campechianum*. Es, además, más pobre en especies de árboles que el bosque semideciduo. Algunas especies de árboles son, *Metopium brownie*, *Vitex gaumeri* y *Erythroxyton campechianum* entre otros.

Bosque de palma, este ecosistema es dominado por especies endémicas de palma, como *Pseudophoenix sargentii*, *Coccothrinax readii* y *Chamaedora seifrizii*.

Sabana, es un pastizal con pocos árboles el cual se inunda de 3 a 4 meses al año. Las familias dominantes son *Gramineae* y *Cyperaceae*, y las principales especies de árboles son *Byrsonima crassifolia*, *Crescentia cujete* y *Paurotis wrightii*.

Humedales, el area cuenta con varios tipos de humedales. Los diferentes tipos resultan del periodo de tiempo que han estado inundados: desde saturación de agua permanente hasta inundación por solo algunos meses al año. Cada uno de los tipos de humedal es reconocido por la especie de planta dominante, como ejemplo, los cuerpos de agua permanentes están dominados por *Nymphaea spp* (Fig.3).

(http://www.uv.mx/CITRO/el_edden/location/whereweare.htm).



A)



B)

Figura 3. A) Humedal y B) Selva en la Reserva Ecológica El Edén

III.5 Geología

La Península de Yucatán es una gran plataforma calcárea que puede ser fácilmente diferenciada del resto de la República Mexicana y áreas colindantes de Centro América, debido a su relativa poca variabilidad superficial. Conforman la denominada Provincia Geológica de la Península de Yucatán, la cual, en general, se caracteriza por estar compuesta de sedimentos marinos calcáreos, depositados en un ambiente de plataforma. La península de Yucatán corresponde a la parte que emerge de dicha plataforma, cuya extensión es de 141, 500 Km² y separa al mar Caribe del Golfo de México. En la península, los rasgos orogénicos están prácticamente ausentes. Por esta razón y por su litología (rocas calizas), la península carece de drenaje superficial y el Río Hondo en la parte sur en frontera con Belice, es el único sistema fluvial (Velázquez *et al.* 2007).

Tanto las calizas Cretácicas (135 a 65 millones de años) como Terciarias-Cuaternarias (65 millones de años al reciente) muestran un ligero gradiente en sentido norte-sur, lo cual indica un pequeño basculamiento de la plataforma durante el Plioceno (5.8 millones de años). En algunos afloramientos cercanos a la costa, se observan periodos transgresivos y regresivos del mar durante el Pleistoceno, ya que se presentan sedimentos lagunares sobreyacidos por sedimentos de playa, los cuales subyacen a sedimentos eólicos (Velázquez *et al.* 2007).

Tectónicamente, constituye un bloque único, sin plegamientos, denominado Bloque Yucatán cuyo límite norte y oeste es la corteza oceánica del Golfo de México. En general, el límite del bloque puede ser definido por la margen de la plataforma carbonatada del Cretácico inferior (Buffer and Sawyer, 1985) y el límite sur por la zona de falla Polochic-Motagua (Donnelly *et al.*, 1990).

La porción norte y oriental de la península están formadas por una topografía kárstica. De acuerdo con Lugo y colaboradores (1992), este relieve kárstico evoluciona como consecuencia de la neotectónica y las glaciaciones, dada su orientación principal NE y NW en el interior de tierra firme y NNE en la costa oriental.

Uno de los rasgos más característicos de la península lo constituyen los cenotes, consecuencia de la topografía kárstica, dada la alta permeabilidad de las rocas y un

gradiente hidráulico casi nulo, el agua de origen meteórico se infiltra y se acumula en el subsuelo, formando una lente de agua dulce con densidad menor, que flota sobre una masa de agua salina más densa, cuyo origen es la intrusión marina natural (Velázquez *et al.* 2007).

III.6 Suelo

Se observan suelos delgados de menos de 30 cm de espesor, cuya génesis se considera como producto de procesos de disolución de la caliza. Siendo el carbonato de calcio el principal componente de la caliza, es claro que no hay una gran cantidad de productos minerales que puedan constituir la cubierta edáfica de la zona (Velázquez *et al.* 2007).

De acuerdo con análisis experimentales llevados a cabo por Landa (2007), el residuo silicatado de las rocas de las canteras de la zona representa menos del 0.5 % del total de la caliza. Esta situación deriva en que los suelos que se observan en los alrededores sean sumamente delgados. De acuerdo con Bautista *et al.* (2005), son los Leptosoles y las Rendzinas los suelos dominantes de la Península de Yucatán.

Dentro de los suelos presentes en la Reserva Ecológica El Edén se encuentra el Leptosol rendzico, Leptosol lítico, Leptosol calcárico, en humedales los suelos dominantes son Leptosol gleyco y Calcisol léptico (Sedov *et al.*, 2007).

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

IV.1 Delimitación de la zona de estudio

Para la selección de la zona de estudio se identificó el área de mayor profundidad del humedal con ayuda de una imagen de satélite batimétrica, área en la cual se realizó el transecto de muestreo.

IV.2 Etapa de campo

Se realizaron observaciones a nivel regional para el reconocimiento de las distintas unidades de suelo encontradas en la toposecuencia la cual cubre la parte mas alta, ecosistema de selva, una zona de transición entre la zona de selva y humedal (inundación estacional) y la parte menos profunda que corresponde a la zona de inundación. En la figura 4 se muestran los 9 sitios de muestreo realizados dentro de la Reserva Ecológica el Edén.

Una vez reconocidas las unidades de suelos, representativas de cada punto de muestreo, se llevó a cabo la toma de muestras. La descripción de los perfiles y delimitación de los horizontes se realizó con base a la WRB (1998), con el sistema ABC, el cual es principalmente utilizado para realizar descripciones de suelo en campo.

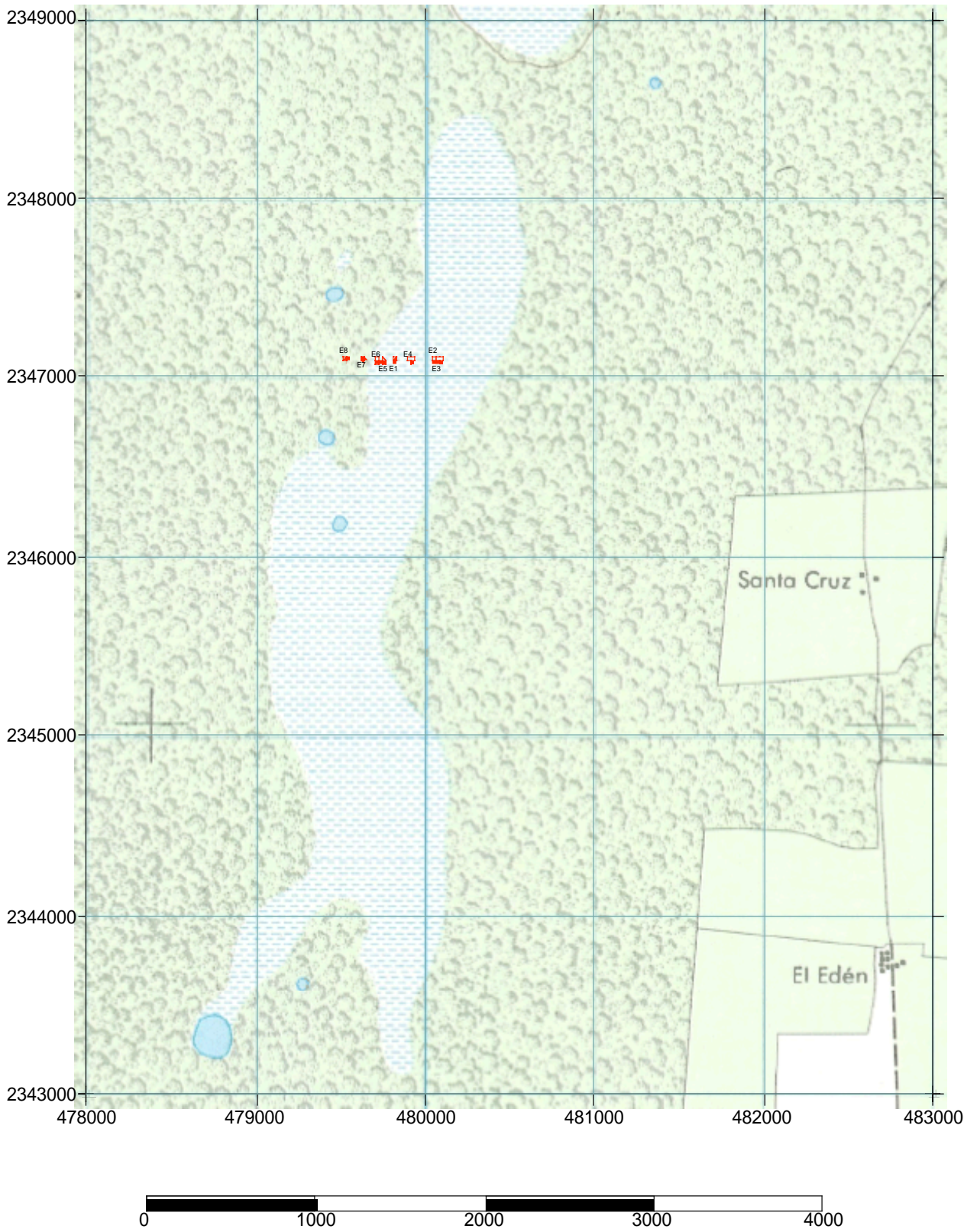


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo.

IV.2.1 Muestreo

La toma de muestras se realizó colocando una pala en el límite del horizonte y de forma cuidadosa, con ayuda de una cuña, se logró colectar el suelo en la pala. Las muestras colectadas fueron homogéneas y contenían todas las variaciones observables del horizonte. Se tomaron aproximadamente 2 kg de muestra de cada uno de los horizontes (Fig. 5). Cada una de las muestras fue colocada en bolsas de plástico las cuales se etiquetaron con el sitio de muestreo, número de muestra y horizonte.

En cada sitio se tomaron los datos de campo y la localización de los perfiles estudiados fue controlada por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS).



Figura 5. Muestra de suelo

IV.3 Etapa de laboratorio

IV.3.1 Pretratamiento de muestras

Previo a los análisis las muestras fueron colocadas en charolas de plástico para secarlas a temperatura ambiente. Una vez secas, se tamizaron con un tamiz malla 2 mm y fueron colocadas en botes de plástico sellados y etiquetados para su posterior análisis.

Para la determinación de la materia orgánica, las muestras (previamente secas) fueron molidas y tamizadas en tamiz malla 180 μm . Para el fraccionamiento de la M.O se utilizaron las muestras previamente tamizadas en malla 2 mm.

IV.3.2 pH activo

Este análisis se llevó a cabo en relación suelo: agua 1:2 con un potenciómetro marca Conductronic S. A. modelo 10 previamente calibrado (Jackson, 1982).

IV.3.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica relación suelo: agua 1:5 fue medida con conductímetro (Richards, 1990).

IV.3.4 Carbono orgánico total

Para este procedimiento las muestras (previamente secas) fueron molidas y tamizadas en tamiz malla 180 μm . Para la determinación se empleó el método Walkley y Black (Fig. 6), el cual se basa en la reacción de la materia orgánica ante un agente oxidante, favorecida por la liberación de calor (Castillo, 1999).



Figura 6. Aspecto de la determinación de Carbono orgánico total

IV.3.5 Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos

Para esta extracción las muestras se secaron a 30 °C y tamizaron en malla 2 mm. La extracción (Fig. 7) se llevó a cabo por el método de Celli *et al* (1997), el cual se basa en la utilización de una sal alcalina (pirofosfato de sodio), la cual dispersa perfectamente el complejo húmico-arcilloso y libera los compuestos húmicos de los compuestos insolubles saturados de calcio, hierro o aluminio, además de la adición de ácido (HCl), permitiendo así la obtención de dos grupos de productos fundamentales: ácidos fúlvicos y ácidos húmicos (Duchaufour y Jacquin, 1963).



Figura 7. Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos en el laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, FES Zaragoza, UNAM.

En la figura 8 se muestra el procedimiento realizado para lograr la extracción de ácidos húmicos y fúlvicos. En el anexo se presenta de forma detallada el procedimiento de extracción.

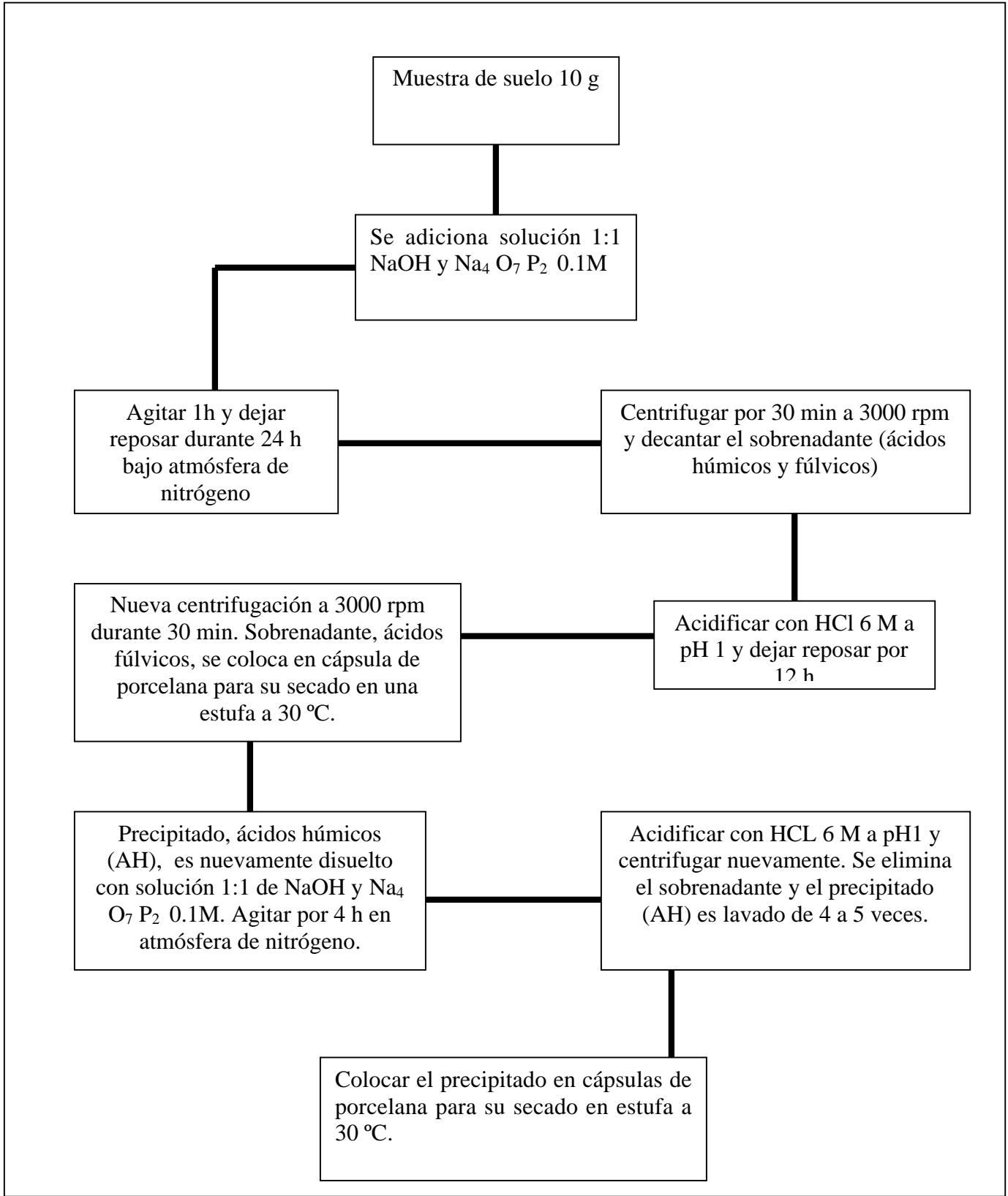



Figura 8. Procedimiento de extracción de AH y AF (Celli *et al*, 1997).

CAPÍTULO V RESULTADOS


En la toposecuencia de la Reserva Ecológica El Edén se estudiaron nueve perfiles, de los cuales seis se encontraron dentro de depresiones: perfiles 1, 2, 3, 4 y 5 ubicados dentro del humedal y perfil 9 en ecosistema de selva. Así como tres perfiles encontrados en relieves sin depresiones: perfiles 6 y 7 en la zona de transición entre selva y humedal y perfil 8 dentro del ecosistema de selva. En la figura 9 se muestra la toposecuencia donde puede apreciarse la distribución de suelos así como también se distingue la parte más alta en la toposecuencia donde se encuentra la selva y la parte baja encontrándose el humedal.

En los cuadros 3 a 11 se presenta la descripción de cada perfil estudiado con base en la WRB (1998). Dentro del humedal se realizaron cinco perfiles en los que se encontraron horizontes: AO, ABk, Ah, Bk y un hístico así como dos horizontes sepultados.


Cuadro 3. Descripción morfológica del perfil 1, en el humedal.

Perfil 1	Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
	<i>AO1</i>	0-2	Periphyton. Color amarillo pálido (5Y/6/3).
	<i>AO2</i>	2-5	Color gris muy oscuro (10YR/3/1); materia orgánica poco descompuesta, fragmentos enteros de plantas, sin humificación, limite claro, estructura granular.
	<i>ABk</i>	5-25	Color café grisáceo (2.5Y/5/2); con manchas de gris oscuro (15%), textura limosa, estructura granular poco estable y desarrollada; motas de material oscuro, estructura granular, poros grandes, medios y finos que disminuyen a profundidad, gran cantidad de conchas de moluscos enteros y fragmentados.
	<i>2Ah</i>	25-29	Color negro (10YR/2/1); limite claro, textura franco limo-arcillosa pero conformado principalmente por humus disperso, estructura granular más desarrollada que el que le sobryace, agregados visibles.


Cuadro 4. Descripción morfológica del perfil 2, en el humedal.

Perfil 2	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>AO</i>	0-5	Color gris muy oscuro (10YR/3/1); materia orgánica poco descompuesta, fragmentos enteros de plantas, sin humificación, limite claro, estructura granular.
	<i>ABk</i>	2-5	Color café grisáceo oscuro (2.5Y/4/2); con manchas de gris oscuro, textura limosa, estructura granular poco estable y desarrollada, con elementos de A, motas de material oscuro, estructura granular, poros grandes medios y finos que disminuyen a profundidad, gran cantidad de conchas de moluscos enteros y fragmentados.
	<i>IAh</i>	5-13	Color negro (10YR/2/1); limite claro, textura franco limo-arcillosa pero conformado principalmente por humus disperso, estructura granular más desarrollada que el que le sobreyace, agregados visibles.
	<i>ABk</i>	13-17	Color café grisáceo oscuro (2.5Y/4/2); textura limosa, estructura granular poco estable y desarrollada, con elementos de A, motas de material oscuro, estructura granular, poros grandes medios y finos que disminuyen a profundidad, gran cantidad de conchas de moluscos enteros y fragmentados.


Cuadro 5. Descripción morfológica del perfil 3, en el humedal.

Perfil 3	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>Hístico</i>	0-51	Color café muy oscuro (10YR/2/2); restos vegetales; bajo grado de descomposición. Se reconoce fragmento pardo oscuro.

Cuadro 6. Descripción morfológica del perfil 4, en el humedal.


Perfil 4	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>O</i>	0-10	Poco periphyton. Color café muy oscuro (10YR/2/2); restos vegetales limite, claro ondulado.
	<i>Ah</i>	10-18	Color negro (10YR/2/1); limite claro, humus oscuro disperso, bloques granular fino, no muy estable color negro, textura limosa, con material fino orgánico; alta densidad de raíces, porosa grandes medios y finos.
	<i>Bk</i>	18-25	Gris oscuro (10YR/4/1); limite claro, plástico sin estructura desarrollada, textura limo arcillosa, domina limo, limite abrupto con roca caliza. Alta densidad de raíces, poros grandes, medios y finos muchos.


Cuadro 7. Descripción morfológica del perfil 5, en el humedal.

Perfil 5	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>AO</i>	0-2	Periphyton
	<i>Bk1</i>	2-13	Color gris (2.5Y/5/1); textura limo arcillosa domina el limo, poca estructura granular en bloques pequeños poco desarrollados y estable; MO en restos vegetales poco descompuestos. Poros finos, alta densidad de raíces, caracoles grandes hasta 3 cm, como muy pequeños tamaño arena.
	<i>Bk2</i>	2-13	Color gris (5Y/6/1); textura limo arcillosa domina el limo, poca estructura granular en bloques pequeños poco desarrollados y Poros muchos finos, baja densidad de raíces, caracoles grandes hasta 3 cm como muy pequeños tamaño arena

En la zona de transición se estudiaron dos perfiles, presentando horizontes: O, Ah, Bk y Bw (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Descripción morfológica del perfil 6, en la zona de transición.


Perfil 6	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>Ah</i>	1-2	Color negro (2.5Y/2.5/1); textura limo arcillosa predomina el limo, estructura granular, material fino orgánico, humus disperso, limite claro.
	<i>Bk</i>	2-13	Color café grisáceo oscuro (2.5Y/4/2); textura limo arcillosa domina el limo, poca estructura granular en bloques pequeños poco desarrollados.

Perfil 7	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>O</i>	0-2	Periphyton
	<i>Ah</i>	2-7	Color café grisáceo muy oscuro (10YR/3/2); textura limo arcillosa, estructura granular poco desarrollada, se fragmenta fácilmente poco estable, material fino orgánico, humus disperso, poros medios y finos, limite claro, alta densidad de raíces.
	<i>Bw</i>	7-16	Color negro (10YR/2/1); textura limo arcillosa aumenta fracción arcilla, estructura granular poco desarrollada, alta porosidad, poros medios y finos, media densidad de raíces.


Cuadro 9. Descripción morfológica del perfil 7, en la zona de transición.

En el ecosistema de selva se estudiaron dos perfiles más con horizontes: O, Ah, AB y Ahg (Cuadros 10 y 11).

Cuadro 10. Descripción morfológica del perfil 8, en selva.

Perfil 8	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>O</i>	0-2	Mantillo con huellas de quema.
	<i>Ah</i>	2-9	Color negro (10YR/2/1), textura arenosa; estructura granular fina poco desarrollada estable, poros grandes, medios y finos, limite claro, alta densidad de raíces; restos de carbón.
	<i>AB</i>	9-20	Color negro (10YR/2/1), textura limosa, limite claro estructura granular fina, poros medios y finos alta densidad de raíces, seco.

Cuadro 11. Descripción morfológica del perfil 9, en selva.

Perfil 9	Horizonte	Profundidad	Descripción
	<i>O</i>	0-2	Mantillo
	<i>Ah</i>	2-9	Color negro (10YR/2/1) textura arenosa; restos vegetales grado medio de descomposición, con huellas de quema
	<i>Ahg</i>	9-20	Color negro (10YR/2/1) textura areno limosa limite claro estructura granular muy poco desarrollada, poros grandes medios y finos, alta densidad de raíces.

V.1 pH y conductividad eléctrica (CE)

Los valores de pH de los perfiles estudiados muestran suelos que van de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos. Son estos últimos los más comunes y corresponden con los suelos ubicados dentro del humedal y en la transición a la selva, a excepción del perfil 2, el cual tiene un pH de 6.22 (Cuadro 12). Por otro lado, los perfiles encontrados en selva son más ácidos con pH entre 6.4 y 6.8

Cuadro 12. Valores promedio de pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico total y ácidos húmicos y fúlvicos.

Perfil	Posición	Horizonte	Profundidad (cm)	pH	CE (dSm ⁻¹)	COT %	AH gKg ⁻¹	AF gKg ⁻¹	AH/AF
1	<i>Humedal</i>	AO1	0-2	7.43	2.86	13.83	7	24.5	0.28
		AO2	2-5	*	*	24.54	*	*	*
		ABk (sup)	5-25	7.72	1.31	12.27	8	25.5	0.31
		ABk (inf)	5-25	7.59	1.39	8.18	9.5	23.5	0.40
		2Ah	25-29	7.57	2.04	24.54	5.5	18.5	0.29
2	<i>Humedal</i>	ABk (sup)	2-5	7.74	1.92	12.07	7.5	21	0.35
		1Ah	5-13	7.64	2.14	23.18	5.5	13.5	0.40
		ABk (inf)	13-17	7.67	1.34	8.37	8	22	0.36
3	<i>Humedal</i>	Hístico	0-51	6.22	2.68	37.79	3	7.5	0.4
4	<i>Humedal</i>	O	0-10	*		36.62	*	*	*
		Ah	10-18	7.24	2.23	37.40	4.5	9.5	0.47
		Bk	18-25	7.81	1.07	3.50	6	13	0.46
5	<i>Humedal</i>	Bk1	2-13	7.7	0.98	5.45	6.5	23	0.28
		Bk2	2-13	7.82	0.48	1.36	2	6.5	0.30
6	<i>Transición humedal-selva</i>	Ah	1-2	7.7	0.98	6.23	16.5	28	0.58
		Bk	2-13	7.88	0.70	2.92	6	15	0.4
7	<i>Transición humedal-selva</i>	Ah	2-7	7.81	0.74	6.62	10	24.5	0.40
		Bw	7-16	7.7	0.57	3.89	9	17	0.52
8	<i>Selva</i>	Ah	2-9	*	*	26.49	*	*	*
		AB	9-20	6.77	0.69	8.57	9.5	16.5	0.57
9	<i>Selva</i>	Ah	2-9	6.40	1.00	27.27	4	10.5	0.38
		Ahg	9-20	6.46	0.76	9.54	6.5	15	0.43

*No determinado

Con respecto a la CE, se observa que los horizontes A de los suelos en el humedal poseen los valores más altos variando entre 2 y 2.8 dSm⁻¹ (Cuadro 12). Esta tendencia se cumple incluso para los horizontes A sepultados encontrados en perfiles 1 y 2.

Los valores de CE más bajos se encontraron en la zona de selva, observándose así que la conductividad disminuye a lo largo de la toposecuencia, es decir, la parte más alta (selva) presenta menor salinidad que la parte baja (humedal).

V.2 Carbono orgánico total (COT)

El análisis de carbono orgánico total (COT) muestra el alto porcentaje de carbono en la toposecuencia con una alta variabilidad en un intervalo de 1.36 y 37.79 % (Cuadro 12). Los porcentajes más bajos se encontraron entre la zona de humedal (perfil 5) y la zona de transición entre humedal y selva (perfiles 6 y 7), mientras que los demás perfiles presentaron un mayor porcentaje de COT, y particularmente el valor más elevado fue el de un horizonte hístico con 37.79 %.

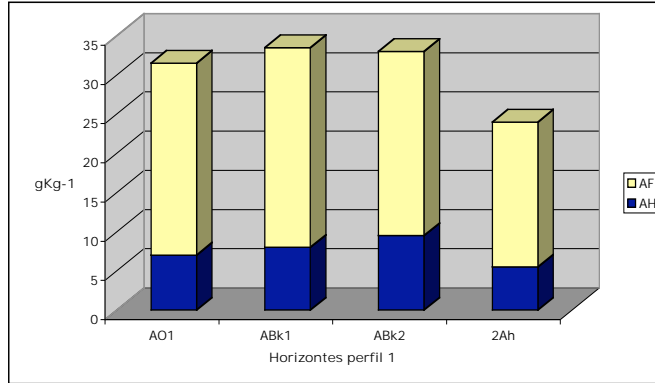
Los perfiles encontrados en depresiones son los que tienen mayores porcentajes de COT entre 1.36 y 37.79. Asimismo, se observa que los porcentajes disminuyen al aumentar la profundidad en cada perfil excepto los horizontes sepultados los cuales muestran altos porcentajes.

V.3 Composición de la materia orgánica

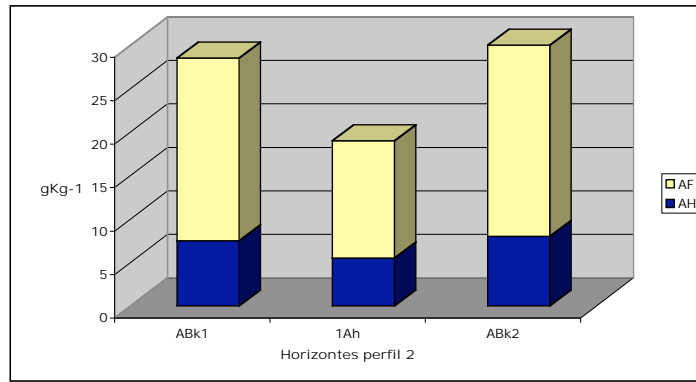
El contenido de ácidos húmicos (AH) varió entre 2 y 16.5 g Kg⁻¹ y el de ácidos fúlvicos (AF) entre 7.5 y 28 g Kg⁻¹ (Cuadro 12).

El mayor contenido tanto de AH y AF se encontró en los perfiles 6 y 7, en sus horizontes Ah, sin embargo, sus horizontes Bk y Bw no presentan mayor contenido de ambas sustancias que los horizontes restantes. La menor proporción de las sustancias se presenta en los perfiles 3 y 5 específicamente en su horizonte Bk2. Los horizontes Ah sepultados, ubicados en 1 y 2, muestran valores muy similares de AH y AF.

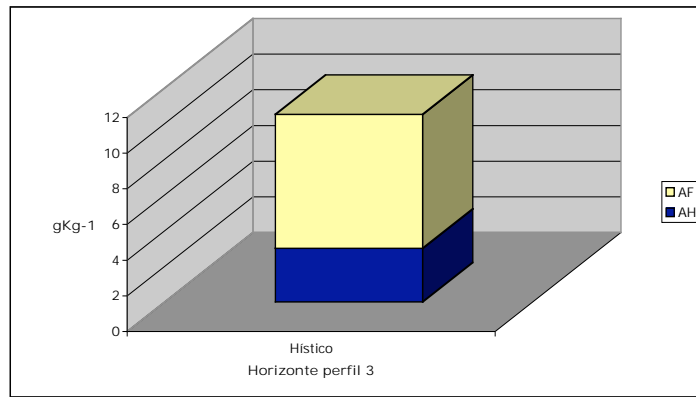
En la figura 10 se puede observar la proporción de ambas sustancias en cada uno de los perfiles, así como también se logra distinguir claramente el predominio de AF en todos los horizontes estudiados.



A)

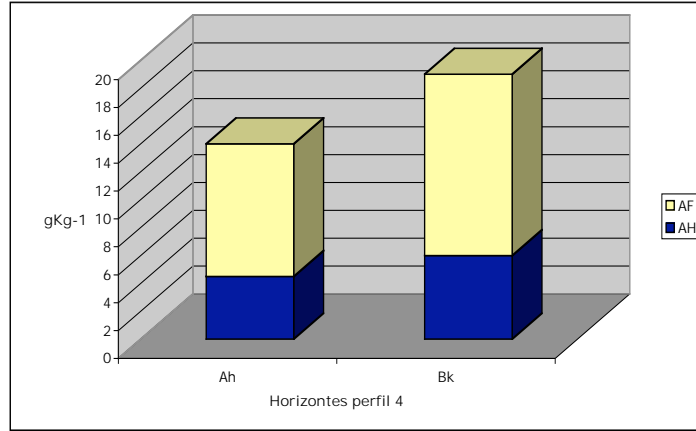


B)

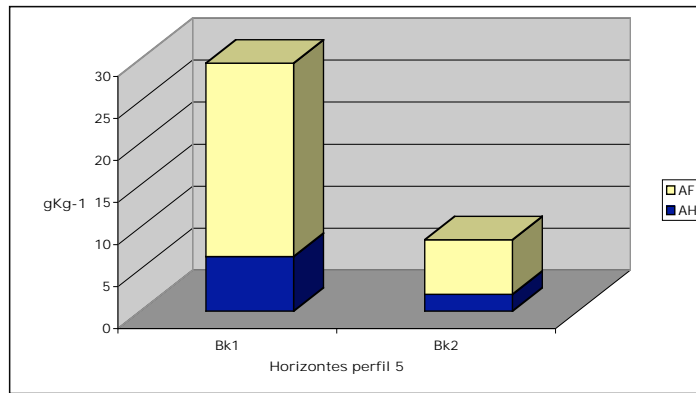


C)

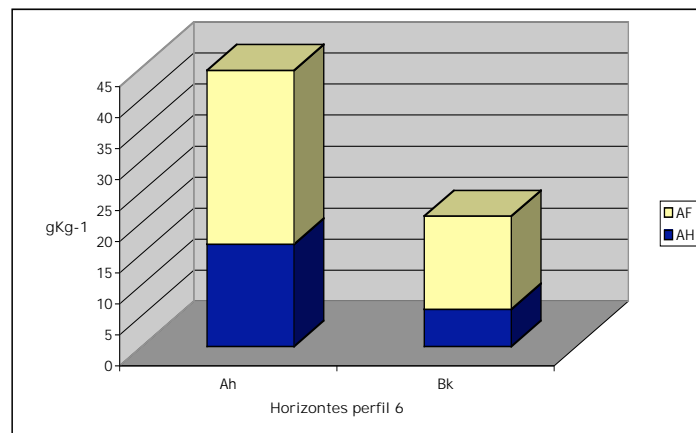
Figura 10. Contenido de Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos



D)

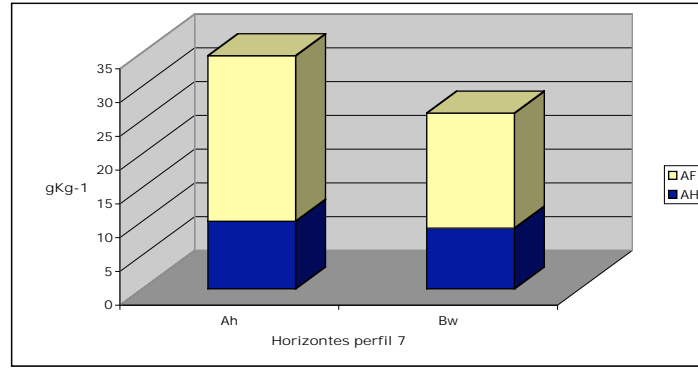


E)

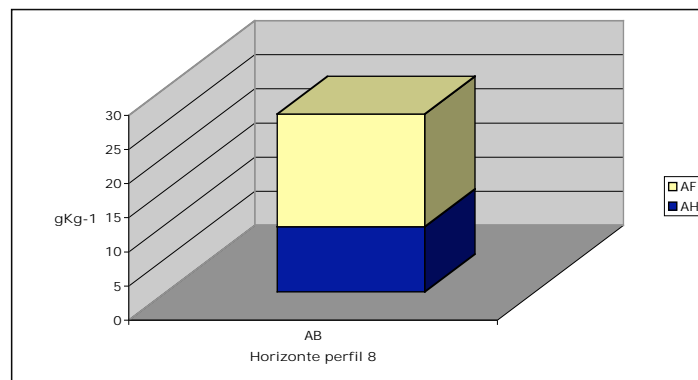


F)

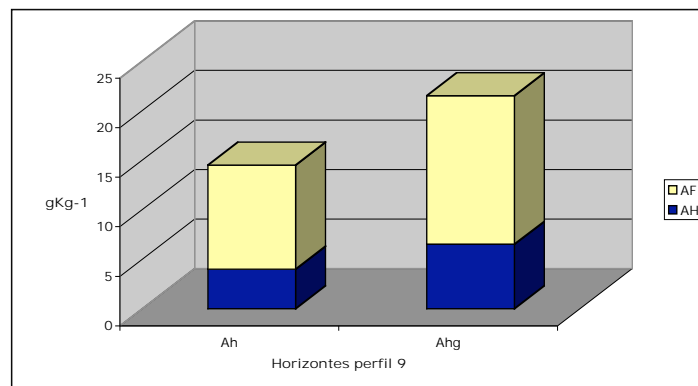
Figura 10. Contenido de Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos



G)



H)



I)

Figura 10. Contenido de Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos

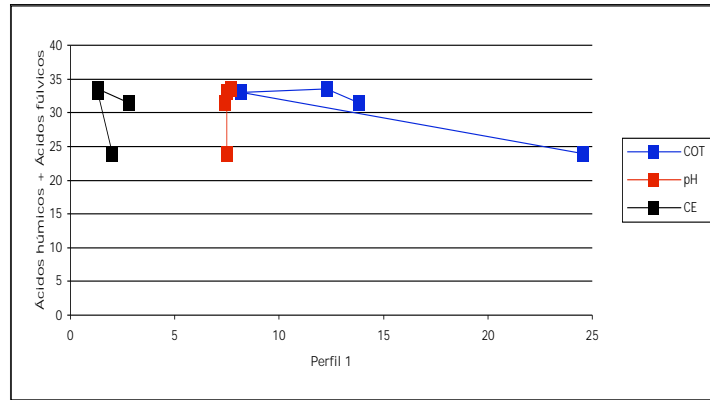
V.4 Análisis de correlación

En el cuadro 13 se muestran las correlaciones encontradas entre el contenido de AH, AF y AH + AF y los porcentajes COT, pH y CE. Se observan correlaciones negativas entre las tres variables mencionadas y COT y CE, mientras que se observan correlaciones positivas entre dichas variables y el pH.

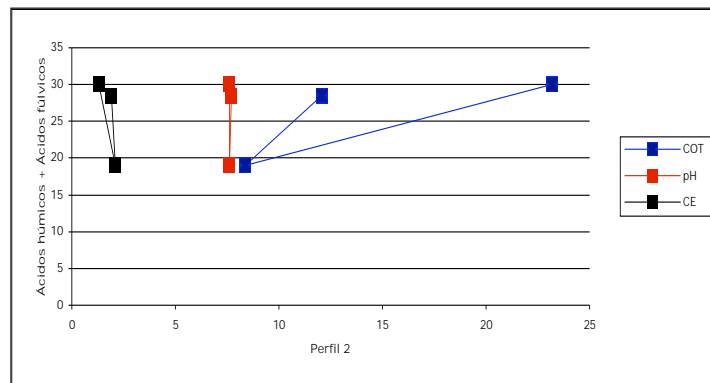
Cuadro 13. Análisis de correlación

Variable	COT	pH	CE
AH	-0.5377	0.3686	-0.4330
	0.0005	0.0228	0.0066
AF	-0.7967	0.6868	-0.5292
	<.0001	<.0001	0.0006
AH + AF	-0.8388	0.6934	-0.5809
	<.0001	<.0001	0.0001

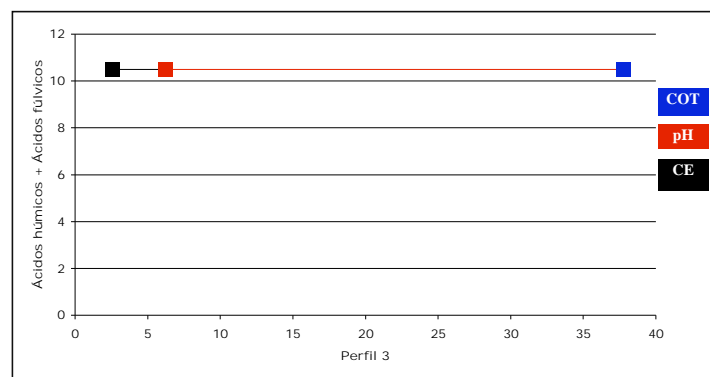
Sin embargo, la correlación es baja en casi todos los casos, es más baja entre los AH y COT, aumenta entre AF y COT y la correlación más alta se presenta entre la suma de los ácidos y COT. En la figura 11 se logran distinguir de forma clara estas correlaciones ya que al aumentar el contenido de AH + AF disminuye el porcentaje de COT y viceversa. AF y AH + AF vs COT muestran valores altos, por lo que se puede suponer que hay mayor relación entre AF y COT, pero los AH también juegan un papel importante. Es interesante observar que AH vs pH arroja valores pequeños, no así AF vs pH, cuya correlación es positiva y cercana a 0.7.



A)

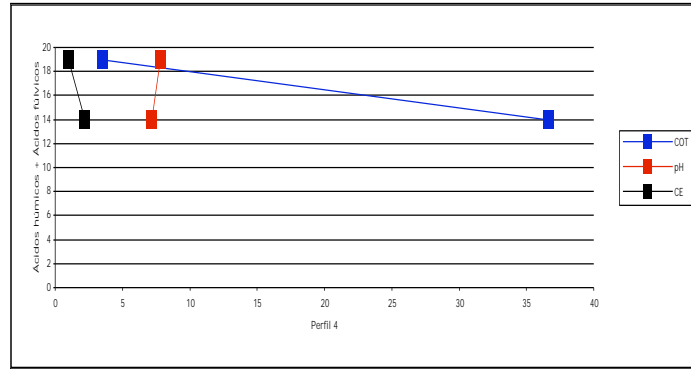


B)

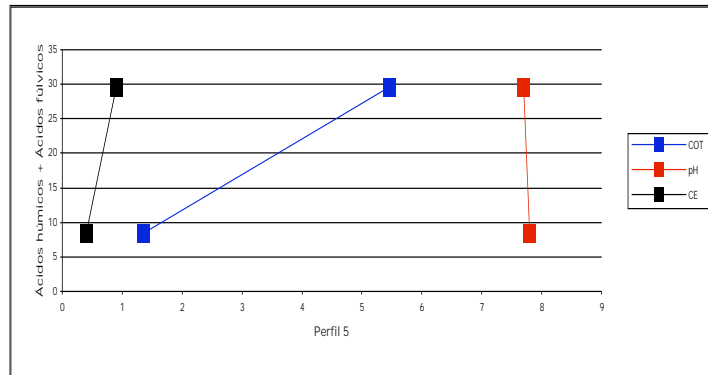


C)

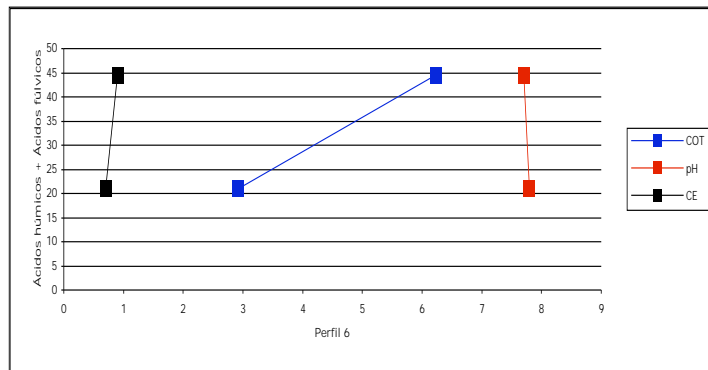
Figura 11. Correlaciones entre Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos vs Carbono orgánico total, pH y Conductividad eléctrica.



D)

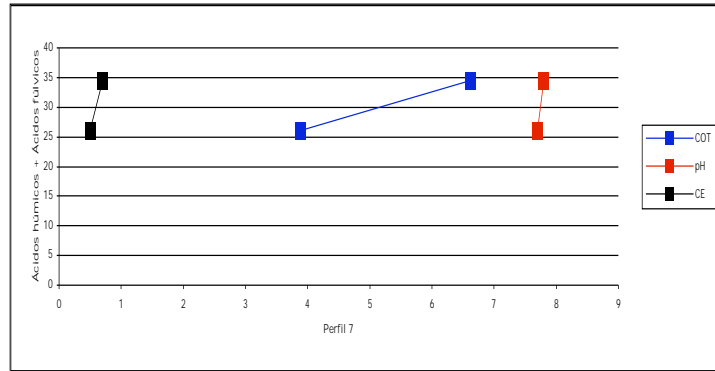


E)

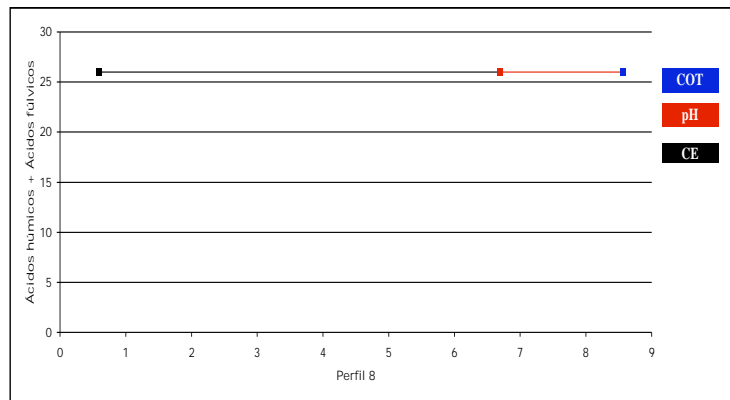


F)

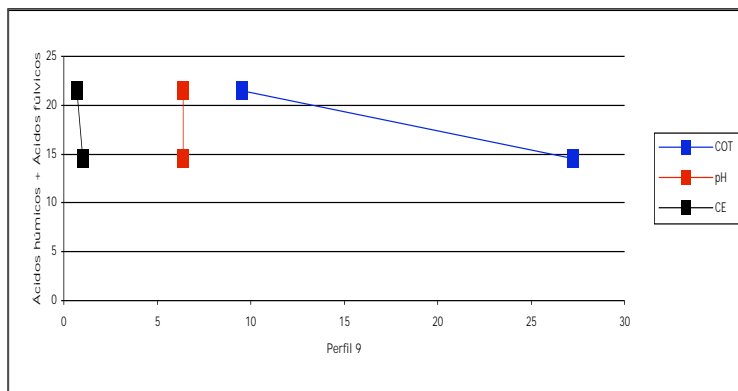
Figura 11. Correlaciones entre Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos vs Carbono orgánico total, pH y Conductividad eléctrica.



G)



H)



I)

Figura 11. Correlaciones entre Ácidos húmicos + Ácidos fúlvicos vs Carbono orgánico total, pH y Conductividad eléctrica.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

VI.1 Distribución y composición de la materia orgánica en los suelos

Los suelos de los humedales de la Reserva Ecológica del Edén son ricos en MO, sobre todo los que se localizan en las pequeñas depresiones (Cuadro 12 y Fig. 9). A diferencia, los resultados encontrados por Sedov *et al.* (2008) muestran que en los medios bien aireados de la zona de selva, los contenidos son menores, encontrándose en un intervalo de 9 al 15%. Fissore y colaboradores (2009) encuentran una distribución similar en humedales de Estados Unidos. Esto se debe a la protección que tienen a la degradación microbiana en los medios anaeróbicos. Se considera que los procesos de acumulación de los materiales orgánicos en los suelos hidromórficos son intensos (Albuquerque and Mozeto, 1997).

Al analizar la composición de la materia orgánica de los humedales de la Reserva, se observa una dominancia de la fracción de ácidos fúlvicos en todos los perfiles, que se refleja en los bajos ratios de AH/AF, todos menores que 1 (Cuadro 12). Esto evidencia que el proceso de humificación es limitado. Se considera que los AF son moléculas en etapa de descomposición menos avanzada que los AH por lo que son menos polimerizadas (Ramesh Reddy, K. and DeLaune, R. 2008). Asimismo, los AF son menos estables pues pueden ser atacados por la actividad microbiana mediante un proceso de “maduración” hasta llegar a las zonas más estables. Inclusive, es notorio que gran parte de la MO en estos suelos se encuentre en forma de residuos no alterados en fases incipientes de descomposición. Particularmente, el perfil 3, con un horizonte hístico y con la mayor proporción de carbono, posee una cantidad elevada de materiales no decompuestos como raíces, hojas, madera, etc.

Comparativamente, el estudio de Jaime (Comunicación personal, 2009) en los suelos de la misma Reserva, pero que se localizan en la zona de selva, poseen relaciones AH/AF mayores, mostrando una dominancia de los AH. Esto es lógico, ya que en los ambientes bien drenados se puede favorecer la degradación de la MO y los procesos de humificación, aunque éstos no son tan pronunciados.

En cuanto al tipo de horizonte, se aprecia que los horizontes Ah de los perfiles que están tanto en la zona de humedal como de selva poseen valores similares de AH y AF (en promedio 5 y 15 gKg⁻¹, respectivamente). Los suelos que pertenecen a la zona de transición muestran los valores más altos de ambos tipos de ácidos. Esto puede deberse a que en esta área, en la que existe una mayor variación en los estados redox del suelo (por las fluctuaciones entre procesos aeróbicos y anaeróbicos) se lleva a cabo una mayor humificación y estabilización de las sustancias húmicas, pues “compite” la degradación microbiana en las épocas de sequía con mayor aereación, con una menor alteración en las fases de saturación. Contrariamente, los horizontes “cálcicos” (ABk, Bk) poseen valores altos de AH y AF en los perfiles que están en el humedal y en la selva, pero bajos en la zona de transición. Es probable que los carbonatos jueguen un papel importante en la producción y estabilización de las sustancias.

Con respecto al tipo de humus que caracteriza los suelos del Edén, se le puede clasificar como del tipo hidromoder (subtipo de humus moder), en perfiles dentro del humedal y perfil 9 en selva, el cual se distingue por una baja actividad biológica, formado en ambientes anaeróbicos por tiempos más o menos prolongados. En el perfil 3, el humus que se encuentra es tipo turba, que tiene un mayor espesor (50 cm) en comparación con el resto de los suelos. Esta turba está también sujeta a procesos muy lentos de mineralización y humificación. Tanto en la zona de transición como en la selva (perfil 8), el tipo de humus que se presenta es del tipo moder debido a que presenta una mineralización media y mayor actividad biológica, en comparación con los anteriores.

VI.2 Factores que determinan la distribución y composición de la materia orgánica

VI.2.1 Relieve

Se considera que el relieve juega un papel fundamental en la distribución de la MO dentro del Edén, a pesar de las diferencias altitudinales tan pequeñas (unos cuantos metros). Sin embargo, es muy clara la correlación que existe entre los mayores contenidos de MO y las depresiones. Es bien sabido que el relieve controla al microclima y según Stevenson (1994) incide directamente en el contenido de la MO por medio de su influencia en el clima, escurrimiento, etc.

Los perfiles que presentan mayor acumulación de MO muestran bajo contenido de AH y AF, ya que los procesos de descomposición en estos sitios no se ven favorecidos, como ya se ha explicado anteriormente. Una excepción a este comportamiento se observa en el perfil 5, que a pesar de encontrarse en una depresión (Fig. 9) muestra bajos porcentajes de COT, por lo que el relieve parece no ser el responsable. De acuerdo a las observaciones hechas en el campo, en este punto particular, se tenía muy poca cobertura vegetal de tal manera que el aporte de ésta a la materia orgánica del suelo es limitado. A pesar de la menor acumulación, existe un aumento en el contenido de las sustancias húmicas, evidenciando que el proceso de humificación ha sido más acentuado.

VI.2.2 Clima

En el área de estudio se tiene una precipitación de 1125 mm siendo más alta entre los meses de mayo y octubre, en los que alcanza hasta 915 mm (Sedov *et al.*, 2007), esto implica que más del 80% de lluvia se recibe en ese periodo, marcando una fuerte sequía estacional. Las áreas que son más afectadas por esta estacionalidad, son las transicionales, pues durante la época de concentración de lluvia, los suelos pueden inundarse, en tanto que en la fase seca, las condiciones se modifican sustancialmente, alterando la concentración y composición de la MO. A diferencia, los ecotonos más estables (selva y humedal) parecen no estar fuertemente afectados por las variaciones climáticas. Sin embargo, Fissore y colaboradores (2009) comentan que la materia orgánica del suelo cambia más en función de la temperatura en medios bien aireados. Por otro lado, Savage and Davidson (2001) mencionan que si las condiciones ambientales se modifican en los humedales (por ejemplo incrementándose la temperatura y disminuyendo la saturación de agua), los suelos se ven afectados puesto que se incrementa la descomposición microbiana.

VI.2.3 Anaerobiosis

Un factor más y que a su vez se relaciona con los anteriores, es la condición de anaerobiosis. Algunos de los perfiles en el transecto se encuentran en zonas de inundación temporal o permanente, ya sea dentro del humedal o depresiones. De acuerdo

con Duchaufour (1978), una humedad suficiente es importante para una rápida descomposición de la MO, sin embargo, una humedad excesiva frecuentemente es la causa de una humificación defectuosa, de forma que la MO mal descompuesta se acumula en espesores bastante grandes y caracterizada por un bajo grado de humificación (Ramesh and DeLaune, 2008). Por lo tanto, ésta condición de pobre drenaje influye en la acumulación de MO, debido a que los procesos de mineralización y humificación no se ven favorecidos.

VI.2.4 pH

El pH es importante en los procesos de mineralización y humificación. De acuerdo con Duchaufour (1978), estos procesos dependen de la actividad biológica general del medio, ligada sobre todo al pH, debido a que suelos poco ácidos favorecen ambos procesos. Esto se relaciona con el contenido en bases de la roca madre ya que los iones calcio (elemento principal en suelos de la zona de estudio) y magnesio saturan los radicales ácidos y elevan el pH, de tal forma que favorecen la mineralización y humificación. Por lo tanto y debido a que los suelos en la zona de estudio presentan pH alcalino es posible mencionar que éste no es un factor que afecte la descomposición de la MO.

VI.3 Secuestro de carbono

Como se logra observar en los resultados (Cuadro 12), se presenta un alto porcentaje de C lo que muestra la importancia de los humedales en el secuestro del mismo. Los humedales tienen la densidad de carbono más elevada entre todos los ecosistemas terrestres, debido a sus bajos periodos de sequía y alta disponibilidad de nutrientes. Estos ecosistemas representan únicamente del 2 al 6 % de la superficie terrestre, sin embargo cuentan con un alto porcentaje (14.5 %) del carbono almacenado en el suelo (Ramesh and DeLaune, 2008). En el presente trabajo se observa la gran acumulación de MO, principalmente en las zonas de inundación, debido a las altas tasas de aporte de MO y a las tasas reducidas de descomposición siendo éstos los principales factores del secuestro de carbono en humedales.

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES

- ◆ Se reconocieron tres zonas en el área de estudio: selva, transición y humedal, que constituye una toposecuencia.

 - ◆ Dentro de la toposecuencia la condición de microrelieve no permitió encontrar diferencias notorias entre las tres zonas presentes, ya que únicamente 3 de los perfiles estudiados se encontraban en distinta condición de relieve por lo cual, de forma generalizada, la composición de la materia orgánica (MO) se vio afectada por los mismos factores, aún encontrándose en ecosistemas distintos.

 - ◆ Los principales factores que determinaron la composición de la MO en el suelo fueron el relieve, específicamente las pequeñas depresiones encontradas en la zona, ya que influye directamente en el contenido de MO, el microclima y las condiciones de anaerobiosis, las cuales limitan los procesos de descomposición ocasionando la acumulación de MO.

 - ◆ La composición de la MO muestra ampliamente la predominancia de AF en cada uno de los perfiles de la toposecuencia, lo cual indica de forma general un proceso de descomposición no favorecido, debido a los factores ya mencionados.
-

- ◆ El contenido de AH y AF fue mayor en los perfiles ubicados en zonas no afectadas, principalmente, por anaerobiosis, debido a que se encontraban en condición de no saturación de agua.

 - ◆ Los tipos de humus presentes en los perfiles estudiados son: moder, hidromoder y turba.

 - ◆ Los humedales muestran su importancia en el secuestro de carbono al presentar elevados porcentajes, mayores al 20 % en la mayor parte de los perfiles estudiados.
-

LITERATURA CITADA

- Albuquerque, A.L.S. and Mozeto, A.A., 1997. C:N:P ratios and stable carbon isotope compositions as indicators of organic matter sources in a riverine wetland system (Moji-Guacu River, Sao Paulo, Brazil). *Wetlands* 17:1-9.
 - Álvarez, R. A., Goulet P. and Garrido J. 2004. Characterization of the porous structure of different humic fractions. *Colloids and surfaces*. pp. 129-135.
 - Barbier, G. 1951. *Bull, A. F. E. S.* pp. 17.
 - Barrera-Marín, A., 1964. La Península de Yucatán como provincia biótica. Universidad de Yucatán, Instituto de Antropología e Historia, Centro de Estudios Mayas, Mérida Yucatán. pp. 41.
 - Bautista, F., Palma-López, D., and Huchin-Malta, W. 2005. Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán, p. 105-122. En: Bautista, F. y Palacio, G., (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 282.
 - Bernier, B. 1960. *Fonds de recher. Forest. De l'Univ. Laval, Québec, Contrib.* 5. pp. 44.
 - Birch, H. D. 1958. *Plant and soil*. 1. pp. 9-31.
 - Birkeland, P. 1984. *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press. United States of America. pp. 372.
 - Buffer, R. T., and Sawyer, D. S., 1985 "Distribution of crust and history, Gulf of Mexico Basin". *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 35: 333-334.
 - Castillo, G. L. M. 1999. *Manual de Practicas de Edafología*. Laboratorio Integral de Biología IV. Manual interno Carrera de Biología FES Zaragoza UNAM; México.
 - Celli L., Schnitzer M., and Négre M. 1997. Analysis of carboxyl groups in soil humic acids by a wet chemical method, Fourier-Transform infrared
-

- spectrophotometry, and solution-state carbon-13 nuclear magnetic resonance. A comparative study. *Soil Science*. 162:189-197.
- Coulson, C. B., Davies, R. I. and Lewis, D. A. 1960. *J. of Soil Sci.* 11, 1. pp. 20-44.
 - Donnelly, T. W., Horne, G. S., Finch, R. C., and Lopez Ramos, E. 1990. "Northern Central America: The Maya and Chortis Blocks", in: Dengo, G. and Case, G. E., (Eds.), *The Geology of North America. The Caribbean Region*. Geol. Soc. of A., A: pp. 371-396.
 - Doran JW, Parkin TB. 1994. Defining and assessing soil quality en: Doran JW, Coleman DC, Bezdick DF, Stewart BA, Eds. *Defining Soil Quality for a sustainable Environment Special Publication No. 35* Madison (USA): Soil Science Society of America. pp. 3-21
 - Duchaufour, P. 1978. *Manual de Edafología*. Toray-Masson, SA. Barcelona, España. pp. 123-157.
 - Duchaufour, Ph. and Jacquin, F. 1963. *Ann. Agro.* 14, 6. pp. 885-918.
 - Etchevers J, Bautista MA, Vergara MA. 2000. Calidad del suelo, indicadores de calidad y captura de carbono en: Quintero R. Reyna T. Corlay L. Ibanez A. García N. Eds. *La edafología y sus perspectivas al siglo XXI Tomo II México: Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo* pp. 507-521
 - Fassbender, H. W.; E. Bornemisza. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Servicio Editorial IICA, pp. 420
 - Fissore, C., Giardina, C.P., Kolka, R.K., Trettin, C.C. 2009. Soil organic carbon quality in forested mineral wetlands at different mean annual temperature. *Soil Biology & Biochemistry* 41:458–466.
 - Franz, H. 1960. *Zur Kenntnis der Quartarstratigraphie und Salzbodengeneese in der Puszta Hortobagy und ihren Randgebieten*. Viena. pp. 82-101.
 - Franzluebber, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Res.* 66: 95-106.
 - García, E., 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de köpen* (special edition made by author).
-

-
- Gopal, B. and Junk, W. J. 2000. Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Leiden: Backguys Publishers. pp. 74-92.
 - Handley, W. R. C. 1954. Forestry Comm. 23. pp. 116.
 - Hayes, M. H. B. 1997. Emerging concepts of the composition and structures of humic substances pp 3-30. In Hayes M. H. B. and W. S. Wilson (Eds). Humic substances in soils, peats and waters. Health and enviromental aspects. The Royal Society of Chemist ry. Information services. Cambridge, UK.
 - Henin, S. and Dupuis, J. 1945. Ann. Agro. pp. 17-29
 - Jackson, M. L. 1982. Análisis químico de suelos. Traducción al español de J. Beltrán. Ed. Omega. Barcelona, España. pp. 662
 - Jaime, M. S. 2009. Comunicación personal
 - Kadlee, R. H. and Knight, R. L. 1996. Treatment wetlands. Boca Raton: Lewis Publishers.
 - Lafond, A. 1952. C. R. de l'Assoc. Canadienne de Conservation. pp. 23-30.
 - Landa, A. J. 2007. Caracterización del residuo silicatado de las calizas como material parental de los suelos de la Península de Yucatán. Tesis de licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM; México.
 - Lazcano-Barrero M. A., I. J. March, H. Núñez, E. Ruelas, A. Muñoz-Alonso, y R. Martínez. 1992. Inventario faunístico de la Reserva El Edén, Quintana Roo: Una prospección. ECOSFERA A. C. Reporte Técnico., San Cristóbal de Las Casas. pp. 54
 - Lee, J. C. 1980. An ecogeographic analysis of the herpetofauna of the Yucatan Peninsula. Univ. Kansas Mus. Nat. Hist. Misc. Publ. 67:1-75
 - Lieth, H. 1990. Element Concentration Cadasters in Ecosystems: Methods of Assessment and Evaluation. VCH, Weinheim, New York, Tokyo.27: 1167-1175.
 - Lo Mónaco, S.; L. López; Y. Ojeda. 1994. Caracterización de las sustancias húmicas asociadas al perfil de meteorización del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, Venezuela. Memorias IV Congreso Latinoamericano de Geoquímica Orgánica, Bucaramanga, Colombia. pp. 25 (Resumen).
 - Lo Mónaco, S.; L. López. 1996. Estudio de la materia orgánica asociada al horizonte superficial del yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, Venezuela:
-

-
- método de extracción con solventes orgánicos. Memorias XXII Congreso Latinoamericano de Química, Concepción, Chile, pp. 509.
- López, L.; F. Millán; S. Lo Mónaco. 1999. Caracterización de ácidos húmicos extraídos de suelos de los llanos, estado Barinas, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 25: 41-56.
 - Lossaint, P. 1959. Etude expérimentale de la mobilization du fer des sols sous l'influence des litières forestières. These Strasbourg. pp. 107.
 - Lugo, J. Aceves, J. y Espinasa, R. 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. *Revista del Instituto de Geografía, UNAM*, 10: 143-150.
 - Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G. 1986. *Wetlands*. New York: Van Nostrand Reinhold.
 - Nguyen Kha, Vedy, J. C. y Duchaufour, Ph. 1969. *Pédologie, Gand*. XIX, 1. pp. 5-22.
 - Paolini, J. 1980. Caracterización de las sustancias húmicas extraídas de suelos típicos de bosque húmedo tropical de San Carlos de Río Negro, T.F Amazonas. *Acta Científica Venezolana* 31: 212-214.
 - Ramesh R., K. and DeLaune R. 2008. *Biogeochemistry of wetlands. Science and applications*. CRC Press. USA. pp. 771.
 - Richards, L. A. 1990. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. 6ª ed., Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Limusa, México.
 - Rivero, C.; J. Paolini; N. Senesi; V. D'Orazio. 1997. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos de *Catalaria funcea* sobre la calidad de la materia orgánica de un suelo. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 23: 77-93.
 - Ruiz, M. 1995. Caracterización de la materia orgánica asociada a microagregados de suelos de dos toposecuencias ubicadas en el estado Guárico. Tesis de Maestría. Maracay, Venezuela. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. pp. 207
 - Savage, K. E., and Davidson E. A. (2001), Interannual Variation of Soil Respiration in Two New England Forests, *Global Biogeochem. Cycles*, 15(2), 337-350.
-

-
- Schaetzl, R., Anderson, S. 2005. Soils: Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press. United Kingdom. pp. 817.
 - Schlesinger, W. H. 1997. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change. 2nd Edition. Academic Press, San Diego, CA.
 - Scott, D. E., Kennedy, A. C., Cambardella CA. 1999. Impact of soil organisms and organic matter on soil structure En: Lal R. Ed. Soil quality and soil erosion Boca Raton (USA): CRC Press. pp. 57-73.
 - Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Quintana Roo. 1987. Los Municipios de Quintana Roo. Colección: Enciclopedias de los Municipios de México. pp. 55
 - Sedov, S. Solleiro-Rebolledo, E. Fedick, S. L. Gama-Castro, J. Palacios-Mayorga, S. Vallejo Gómez, E. 2007. Soil genesis in relation to landscape evolution and ancient sustainable land use in the Northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. Atti. Soc. Tosc. Sci. nat., Mem., Serie A, 112. pp. 115-126.
 - Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E., Fedick, S.L., Pi-Puig, T., Vallejo-Gómez,E., and Flores-Delgado, M.L., 2008. Micromorphology of a Soil Catena in Yucatán: Pedogenesis and Geomorphological Processes in a Tropical Karst Landscape. En S. K apur et al. (eds.), New Trends in Soil Micromorphology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 19-37.
 - Shoji, S., Nanzyo, J. M. and Dahlgren, R. 1993. Volcanic ash soils, genesis, properties and utilization. Development in Soil Science 21:288.
 - Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil. pp. 66.
 - Soil Science Society of America. 1987. Glossary of soil science terms. SSSA, Madison, WI.
 - Stevenson, F. J. 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions, 2nd. ed. John Wiley and Sons, New York. pp. 443
 - Stevenson FJ, Cole MA. 1999. Cycles of soil New York (USA): John Wiley and Sons.
 - Sumner, M. 2002. Handbook of Soil Science. CRC Press. E. U. A. pp. 25-49.
 - Swift, R. S. 1991. Effects of humic substances and polysaccharides on soil
-

-
- aggregation. In: *Advances in Soil organic matter research: the impact on agriculture and the environment.* (Wilson, W.S, editor). The Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Cambridge. pp. 153-162.
- Velázquez, G., Malpica, V., Solleiro, E., Sedov, S. 2007. *Guía de la Excursión: Geología, Edafología y Vegetación de la Península de Yucatán.* pp. 2-7.
 - Vymazal, J. 1995. *Algae and element cycling in wetlands.* Boca Raton: Lewis Publishers.
 - Whitby, L.M.; M. Schnitzer. 1978. Humic and fulvic acids in sediments and soils of agricultural water sheds. *Canadian Journal Soil Science* 58:167-178.
 - Wittich, W. 1952. *Schrift. der forst. Fakul. Der Univ. Gottingen, J. D. Sauerlander's Verlag, Frankfurt/Main.* 4. pp. 106.
 - WRB, (1998). *World Referente Base for Soil Resources. Wprld Soil Resources Reports 84.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 88
 - Yan, Y. and T. Wang. 1996. Fourier transform Raman spectroscopic characterization of humic substances. *Vibrational spectroscopy* 14: 105-112.
 - <http://www.crupy-uach.org.mx/zona/> (3 Enero 2009)
 - http://www.uv.mx/CITRO/el_edden/location/whereweare.htm (10 Noviembre 2008)
-

ANEXO

Determinación de carbono orgánico total, método de Walkley y Black (Jackson, 1982)

Reactivos

Dicromato de potasio 1.0 N

Sulfato ferroso 0.5 N

Indicador de difenilamina

Ácido sulfúrico concentrado

Ácido fosfórico concentrado

Fluoruro de sodio

Procedimiento

Se pesan 0.5 g de suelo (en este caso se pesaron 0.01 g de suelo por alto contenido de MOS) tamizado en una malla de 2 mm, se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, se añaden 5 mL de dicromato de potasio 1N y se agita.

Se añaden 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agita durante 1 minuto, se deja reposar por 30 minutos o hasta que se haya enfriado.

Se añaden 100 mL de agua destilada, se agita y se deja enfriar.

Se agregan 5 mL de ácido fosfórico concentrado, 0.05 g de fluoruro de sodio y de 10 a 15 gotas de indicador de difenilamina.

Se titula con sulfato ferroso 0.5 N. Para hacer la valoración de la solución de sulfato ferroso, se corre una prueba en blanco (todos los reactivos sin suelo) y se obtiene el valor de B de la siguiente ecuación. Con el empleo de la siguiente fórmula no es necesario calcular específicamente la normalidad.

Cálculos

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

M = mL de sulfato ferroso gastados en la titulación

B = mL de sulfato ferroso gastados en el blanco

El factor 1.34 se deduce de la siguiente forma:

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

$$(1.0 \text{ N}) \times 12/4000 \times 1.72/0.77 \times 100/0.1 = 6.70 \text{ (en este caso)}$$

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

12/4000 = peso miliequivalentes del carbono

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

0.77 = factor de recuperación de 77% determinado por Walkley

0.5 = peso de muestra (en este caso 0.01g)

Extracción de Ácidos Húmicos y Fúlvicos (Celli et al., 1997)

Reactivos

Solución de Pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{O}_7\text{P}_2$) 0.1 M.

Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 M.

Ácido Clorhídrico (HCl) 6 M.

Procedimiento

Secar la muestra de suelo en la estufa a una temperatura de 30 °C, y tamizar con una luz de malla de 2 mm.

Pesar 10 g de muestra y transferir a un tubo con cierre hermético, adicionar 35 mL de la solución 1:1 de Hidróxido de Sodio y Pirofosfato de sodio 0.1 M, agitar por una hora y dejar a temperatura ambiente durante 24 horas bajo atmósfera de nitrógeno.

Centrifugar la muestra por 30 minutos a 3000 rpm, por 30 minutos, decantar el sobrenadante (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) y acidificarlo con la solución de ácido clorhídrico 6 M hasta pH 1. dejar reposar por 12 horas a temperatura ambiente. Centrifugar por 30 minutos a 3000 rpm, el sobrenadante (ácidos fúlvicos), se coloca en cápsula de porcelana y se seca en la estufa a una temperatura de 30 a 35 °C.

El precipitado corresponde a los ácidos húmicos, los cuales se disuelven nuevamente con 25 mL de solución de pirofosfato de sodio e hidróxido de sodio (1:1), agitar por 4 horas en atmósfera de nitrógeno.

Acidificar nuevamente con solución de ácido clorhídrico 6 M hasta pH 1, permitiendo la coagulación de los ácidos húmicos.

Centrifugar nuevamente por 30 minutos a 3000 rpm, eliminando el sobrenadante y lavando el precipitado con agua destilada (de 4 a 5 lavados) hasta que el contenido de cenizas sea menor al 4%. Secar los ácidos húmicos en la estufa a una temperatura de 30 a 35 °C. Almacenar en recipientes de cierre hermético.

pH relación 1:2, con H₂O (Jackson, 1982)

Reactivos

Agua destilada

Soluciones amortiguadoras con pH 4.0 y 7.0

Material y equipo

Vasos de precipitado de plástico de 100 y 150 ml

Agitadores de vidrio

PH-metro

Procedimiento

Se colocan 10 g de suelo en un vaso de precipitado de 100 ml, se añaden 20 ml de agua, lo cual da una relación suelo/solución 1:2. Se agita manualmente durante 1 minuto y se deja reposar por 19 minutos. La operación se repite dos veces. Se agita perfectamente la suspensión del suelo antes de efectuar la lectura correspondiente de pH. Se calibra el instrumento con las soluciones amortiguadoras, teniendo cuidado de leer las muestras problema en el intervalo de pH correspondiente.

Conductividad eléctrica (Richards, 1990)

Reactivos

Agua

Material y equipo

Probeta de 50 ml

Vasos de precipitado de 50 o 100 ml

Varillas de vidrio

Termómetro, escala 0 a 100 °C

Puente de conductividad

Procedimiento

Se colocan 10 g de suelo en un vaso de precipitado de 100 ml. Se añaden 50 ml de agua. Se agita la suspensión y se deja reposar por 24 h. Se mide la conductividad eléctrica del sobrenadante. Se enjuaga con la solución problema, dos o tres veces. Se toma la temperatura de la solución problema. Las lecturas se corrigen por un factor de temperatura y se expresan de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Cálculos

Cálculo de la constante de la celda:

$$k = \frac{1.4118}{C_{Kcl}}$$

k= constante de la celda a 25 °C

1.4118 mmho cm⁻¹= conductividad eléctrica específica de Kcl 0.01 N a 25 °C

C_{Kcl}= conductividad de la disolución en mmhos

$$CE = \frac{C_{prob} \times k \times Ft}{1000}$$

CE= conductividad eléctrica, dS m⁻¹, a temperatura ambiente. Si mmho cm⁻¹= dS m⁻¹

C_{prob}= conductividad de la muestra problema en μmhos

Ft= factor de corrección de temperatura tabulada

1000= factor para convertir de μmho a mmho

Factores de corrección por temperatura de datos de conductividad eléctrica en extractos de suelo.

°C	Ft	°C	Ft	°C	Ft
16.0	1.218	23.0	1.043	28.4	0.936
17.0	1.189	23.2	1.038	28.6	0.932
18.0	1.163	23.4	1.034	28.8	0.929
18.2	1.157	23.6	1.029	29.0	0.925
18.4	1.152	23.8	1.025	29.2	0.921
18.6	1.147	24.0	1.020	29.4	0.918
18.8	1.142	24.2	1.016	29.6	0.914
19.0	1.136	24.4	1.012	29.8	0.911
19.2	1.131	24.6	1.008	30.0	0.907
19.4	1.127	24.8	1.004	30.2	0.904
19.6	1.220	25.0	1.000	30.4	0.901
19.8	1.117	25.2	0.996	30.6	0.897
20.0	1.113	25.4	0.992	30.8	0.894
20.2	1.107	25.6	0.998	31.0	0.890
20.4	1.102	25.8	0.983	31.2	0.887
20.6	1.097	26.0	0.979	31.4	0.884
20.8	1.092	26.2	0.975	31.6	0.880
21.0	1.087	26.4	0.971	31.8	0.877
21.2	1.082	26.6	0.967	32.0	0.873
21.4	1.078	26.8	0.964	32.2	0.870
21.6	1.073	27.0	0.960	32.4	0.867
21.8	1.060	27.2	0.956	32.6	0.864
22.0	1.064	27.4	0.953	32.8	0.861
22.2	1.060	27.6	0.950	33.0	0.858
22.4	1.055	27.8	0.947	33.2	0.843
22.6	1.051	28.0	0.943	33.4	0.829
22.8	1.047	28.2	0.940	33.6	0.815
