



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Fracciones húmicas en los suelos de chinampa del
sitio RAMSAR 1363 Sistema Lacustre Ejidos de
Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

PRESENTA:

LYNN ANAHI NAMBO RAMÍREZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA. AMADA LAURA REYES ORTIGOZA



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.

2017.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno

Nambo
Ramírez
Lynn Anahi
044 55 3076 6738
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
306183047

2. Datos del Tutor

Dra.
Amada Lura
Reyes
Ortigoza

3. Datos del sinodal 1.

Dra.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán.

4. Datos del sinodal 2

M en C.
Manuel
Hernández
Quiroz

5. Datos del sinodal 3.

M en C.
Jaime
Díaz
Ortega

6. Datos del sinodal 4.

M en C.
María del Socorro
Galicia
Palacios

7. Datos de la tesis

Fracciones húmicas en los suelos de chinampa del sitio RAMSAR 1363 Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco X55 p. 2017.

Palabras clave: sustancias húmicas, chinampa,....

Índice General

HOJA DE DATOS DEL JURADO	- 2 -
ÍNDICE FIGURAS	- 5 -
ÍNDICE TABLAS	- 6 -
ACRÓNIMOS	- 7 -
Resumen.....	- 8 -
CAPÍTULO 1. Introducción.....	- 1 -
1.1. ASPECTO HISTORICO.....	- 1 -
1.1.1. <i>Problemática hidrológica.</i>	- 2 -
1.2. LA CHINAMPA.....	- 3 -
1.2.1. <i>Inicios de la chinampa.</i>	- 4 -
1.2.2. <i>Chinampa actual.</i>	- 5 -
1.3. SUELOS CHINAMPEROS.....	- 5 -
1.4. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	- 6 -
1.4.1. <i>Descomposición de la materia orgánica</i>	- 8 -
1.4.2. <i>Composición química de los restos vegetales.</i>	- 8 -
1.5. HUMUS.....	- 10 -
1.5.1. <i>Formación del humus.</i>	- 11 -
1.5.2. <i>Características del humus.</i>	- 13 -
1.5.3. <i>Propiedades Funciones del humus.</i>	- 14 -
1.6. SUSTANCIAS HÚMICAS.....	- 15 -
1.6.1. <i>Clasificación de las sustancias húmicas.</i>	- 15 -
1.7. JUSTIFICACIÓN.....	- 19 -
1.8. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	- 19 -
<i>Hipótesis.</i>	- 20 -
Capítulo 2. Zona de estudio.....	- 21 -
2.1 GEOLOGÍA.....	- 22 -
2.2. CLIMA.....	- 22 -
2.3. VEGETACIÓN.....	- 23 -
2.4. HIDROLOGÍA.....	- 24 -
2.5. SUELO.....	- 25 -
Capítulo 3. Material y método.....	- 27 -
3.1. MUESTREO	- 27 -
3.2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	- 28 -

3.2.1. Tamizado	- 28 -
3.2.2. Extracción de Sustancias Húmicas	- 28 -
3.2.3. Cálculos Matemáticos.	- 30 -
3.2.4. Análisis estadísticos.....	- 30 -
Capítulo 4. Resultados y discusiones.	- 32 -
4.1. Análisis de componentes.	- 32 -
4.2. Porcentaje de carbono y materia orgánica.	- 34 -
4.3. Densidades ópticas e índices de humificación.....	- 37 -
4.4. Humificación.....	- 40 -
4.5. Salinidad.	- 41 -
4.7. Recomendaciones.	- 42 -
Conclusiones.	- 42 -
Literatura citada.....	- 44 -

ÍNDICE FIGURAS

- 1.1. Sistema chinampero tradicional.
- 1.2. Clasificación de la materia orgánica del suelo.
- 1.3. Descomposición de la materia orgánica del suelo (Bonh, McNeal *et al* 1993).
1. 4. Teoría de la formación de sustancias húmicas a partir de la lignina.
- 1.5. Ruta de formación de humus basada en quinonas.
- 1.6. Ruta de formación de humus propuesta por Stevenson basada en la condensación de amino-compuestos a partir de azúcares.
- 1.7. Estructura química del ácido húmico (Stevenson, 1982).
- 1.8. Estructura del ácido fúlvico (David, 2008).
- 1.9. Formación de humina microbiana y humina de insolubilización.
- 2.1. Localización del polígono RAMSAR 1363 Sistema Lacustre de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, México, D.F.
- 2.2. Mapa de clima de Xochimilco (Fuente: INEGI, modificación propia).
- 2.3 Sistema hidrológico de Xochimilco.
- 2.4. Tipos de suelo del Sistema Lacustre de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. (Fuente: Gobierno del Distrito Federal, Secretaria del Medio Ambiente, 2002).
- 3.1. Sitio de estudio, RAMSAR 1363.
- 4.1. Circulo de correlaciones de factores químicos.
 - 4.1.2. Representación de los factores sitio.
- 4.2. Unidades del sistema hidráulico de la zona de RAMSAR.
- 4.3. Espectro de UV-visible de uso de suelo sin trabajar y con vegetación de pastizal.
- 4.4. Proceso de evolución de las sustancias húmicas de las muestras de suelo del sitio RAMSAR 1363.

ÍNDICE TABLAS

- 1.1. Categorización de la materia orgánica (Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000).
- 1.2. Composición elemental de las sustancias húmicas (Stevenson, 1982).
- 3.1. Coordenadas geográficas de las muestras del sitio RAMSAR 1363 con usos de suelo diferentes.
- 4.1. Porcentaje de carbono en las fracciones del suelo del sitio RAMSAR 1363.
- 4.2. Contenido de materia orgánica del sitio RAMSAR 1363.
- 4.3. Densidad óptica e índice de humificación del sitio RAMSAR 1363.
- 4.4. Clasificación del suelo basado en CE y pH del sitio RAMSAR 1363.

ACRÓNIMOS

Acrónimo	Significado
% C	Porcentaje de carbono
ACP	Análisis de componentes principales
AF	Ácido fúlvico
AH	Ácidos húmicos
CAH/CAF	Índice de humificación
C	Carbono
CE	Conductividad eléctrica
HCl	Ácido clorhídrico
Hm	Humina
<i>Ibid.</i>	Igual que la referencia anterior
KCl	Cloruro de potasio
MO	Materia orgánica
MOS	Materia orgánica del suelo
N	Número de muestra
NaHCO ₃	Bicarbonato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
Na ₄ P ₂ O ₇	Pirofosfato de sodio
sp.	Especie
SH	Sustancias húmicas
ST	Sin trabajar
VP	Vegetación con pastizal

Resumen.

Las chinampas han tenido gran importancia por el empleo de técnicas tradicionales de producción agrícola, el cambio de la calidad de agua de los canales en los años cincuenta y la acumulación de sales y/o sodio en los suelos que han afectado fuertemente la productividad del agroecosistema, el presente trabajo se realizó en el sitio RAMSAR 1363 Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Los objetivos planteados en este trabajo consistieron en 1) Caracterizar las fracciones de las sustancias húmicas (AH, AF y Hm) cuantificando el porcentaje de carbono; 2) Determinar la evolución de las sustancias húmicas a través de las densidades ópticas de los ácidos húmicos y con el cálculo de la relación E4/E6 (465/665 nm) además del índice de humificación (CAH/CAF); 3) Analizar y comparar los resultados para establecer si existen diferencias en los proceso de humificación y mineralización con los diferentes usos de suelo, ubicación o características ambientales; 4) Con los resultados participar en la propuesta de recomendaciones para la mejor conservación de la zona.

Las muestras de suelos presentaron un contenido de bajo a alto de carbono (3.57-47.93%C) indicando una mineralización lenta debido a las condiciones anaeróbicas y a la presencia de material orgánico que se adiciona constantemente, presentaron color negro a gris oscuro característica asociada al alto contenido de materia orgánica. En las sustancias húmicas, las huminas fueron la fracción más abundante del suelo (1.61-44.7%), los AH (valores menores a 5) mostraron que se lleva a cabo el proceso de humificación; la relación E4/E6 mostró que las muestras de suelos B15, F16, G6 son suelos con menor humificación por lo tanto son suelos jóvenes; el índice CAH/CAF indica que la mayoría de muestras del suelo presentan restricciones edáficas relacionadas a la poca actividad biológica; la zona de estudio presenta suelos salinos y suelos normales (sin acumulación de sales), dominaron los suelos salinos.

Se concluyó que en los usos de suelos del sitio RAMSAR 1363 Sistema Lacustre Ejido de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco no presentan diferencias entre los uso de de suelo, se distingue un proceso de humificación, la evolución de las sustancias húmicas tiene que ver con los factores topográficos, salinos, con el contenido de MO, a los organismos del suelo y a las características históricas de las chinampas

CAPÍTULO 1. Introducción.

El suelo envuelve un mundo insospechado de organismos que conviven armónicamente, de tal forma que mantienen los sistemas ecológicos, aportan al mismo tiempo varios componentes químicos, minerales como resultado de la biodegradación y simultáneamente compuestos orgánicos como ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, enzimas y vitaminas; ciertos grupos de organismos interviene en procesos fermentativos aprovechables por el ser humano para producir alimentos (Aguilera, 1989).

1.1. ASPECTO HISTORICO.

La importancia de la zona chinampera de Xochimilco radica en el alto valor cultural, en especial el aspecto agrícola que tiene mucha tradición. Entender la situación actual del lago de Xochimilco requiere revisar el origen del proceso de transformación de los canales y las chinampas a lo largo de la historia.

El Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco está ubicado al sureste de la ciudad de México, Xochimilco fue poblado por una de las siete tribus nahuatlacas (Xochimilcas, Chalcas, Aztecas, Acalhuas, Thahuicas, Tecpanecas y Huexotzincas) y fue fundada en el año 919 d.C. por los Xochimilcas en una pequeña península de tierra firme en la sierra del Chichinautzin, se extendieron hasta Mixquic, Tláhuac y Culhuacán (López-Ríos, 1988; Aranda, 2004).

Las regiones occidental y sur de la ciudad eran pantanosas y hacia el sureste existían pequeñas lagunas lo que daba aspecto de isla a la ciudad, además el sitio estaba constituido por sedimentos de origen volcánico provenientes del volcán Xitle, que formaba una zona potencialmente muy fértil y con abundancia de agua provenientes de los manantiales que brotaban al pie de la sierra (De la Rosa, 2006).

1.1.1. Problemática hidrológica.

La problemática hidrológica en la zona repercute en el deterioro de la agricultura que comenzó desde el inicio de la explotación intensiva del agua a fines de la década de los años cuarenta, cuando se entubó el agua de los lagos de Xochimilco y Chalco, y perforaron pozos profundos para proveer de este líquido a la ciudad de México, esto disminuyó el nivel de las aguas (Hernández-Jiménez, 2001; Serra, 1988).

Para la década de los años cincuenta se acentuó el proceso de desecación de canales, manantiales y ciénagas, resultando insuficiente el agua para el proceso agrícola (Hernández-Jiménez, 2001) los suelos por falta de humedad comenzaron a compactarse y a hundirse diferencialmente impidiendo la navegación, por lo que se decidió mandar aguas tratadas tratando de conservar el nivel del agua en la zona de chinampas y desde entonces los niveles han estado fluctuando (Álvarez-Gómez, 2001).

Como consecuencia de este proceso solo quedan algunos relictos del sistema de chinampa como son: Xochimilco, Tláhuac, Mixquic y San Gregorio Atlapulco (De la Rosa, 2006).

Otro aspecto importante es la muy lenta circulación de agua, disminuye la capacidad de autopurificación y aumenta el contenido salino de las aguas (Hernández-Jiménez, 2001; De la Rosa, 2006).

En la actualidad, el Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco es un polígono denominado sitio RAMSAR 1363, que coincide al mismo tiempo con la denominada Zona de Conservación Ecológica Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, este sitio fue declarado Área Natural Protegida por decreto Presidencial (DOF, 1986), a su vez se encuentra dentro del área denominada Patrimonio Cultural de la Humanidad que corresponde con la Zona de Monumentos Históricos (UNESCO, 2005).

En la zona lacustre, los usos de suelo son muy diversos, la mayor parte de aprovechamiento productivo, incluye agricultura de riego, temporal e intensivo, existen zonas totalmente deforestadas que dan lugar al desbordamiento de material de chinampas (Chávez, 2000), los principales productos que se cultivan actualmente

son: maíz, lechuga, espinaca, romerito, peral, chícharo, zacate, zacatón y chía (INEGI, 2008).

1.2. LA CHINAMPA.

De origen prehispánico, la chinampa es una tecnología agrohidrológica sustentable desarrollada en las zonas lacustre y palustre de Mesoamérica, que alcanzó su apogeo durante el imperio azteca en la cuenca del Valle de México (Aldama, 2004).

Por definición, una chinampa debe estar rodeada por canales de agua en al menos tres de sus lados (Merlín-Urbe, 2009). Los canales son parte esencial del sistema tradicional, ya que son indispensables durante el riego, ya sea por infiltración o superficial; así como para la formación y acumulación de fango, necesario en la construcción de islotes o como sustrato al cultivar (Jiménez-Moreno, 2013).

La palabra chinampa proviene del náhuatl *chinamitl*, que significa seto o cerca de caña entrelazados y de la palabra *pan* que significa sobre de o encima de (Rojas-Rábiela, 1993).

Las chinampas son parcelas artificiales de forma rectangular, semejantes a islotes largos y angostos, rodeados por canales (*figura 1.1*), construidas en las orillas de lagos de poca profundidad o en humedales (*Ibid*), se caracteriza por ser un sistema integral de producción agropecuaria y forestal en el que se incluyen la pesca en los canales, la siembra de árboles como el ahuejote (*Salix bonplandiana*) en las orillas de parcelas, la ganadería (Jiménez-Osornio, 1990) y el reciclaje eficiente de los nutrientes acarreados por el agua de los canales, su ventaja es que no depende directamente del régimen de lluvias (Martínez-Ruiz, 2004).

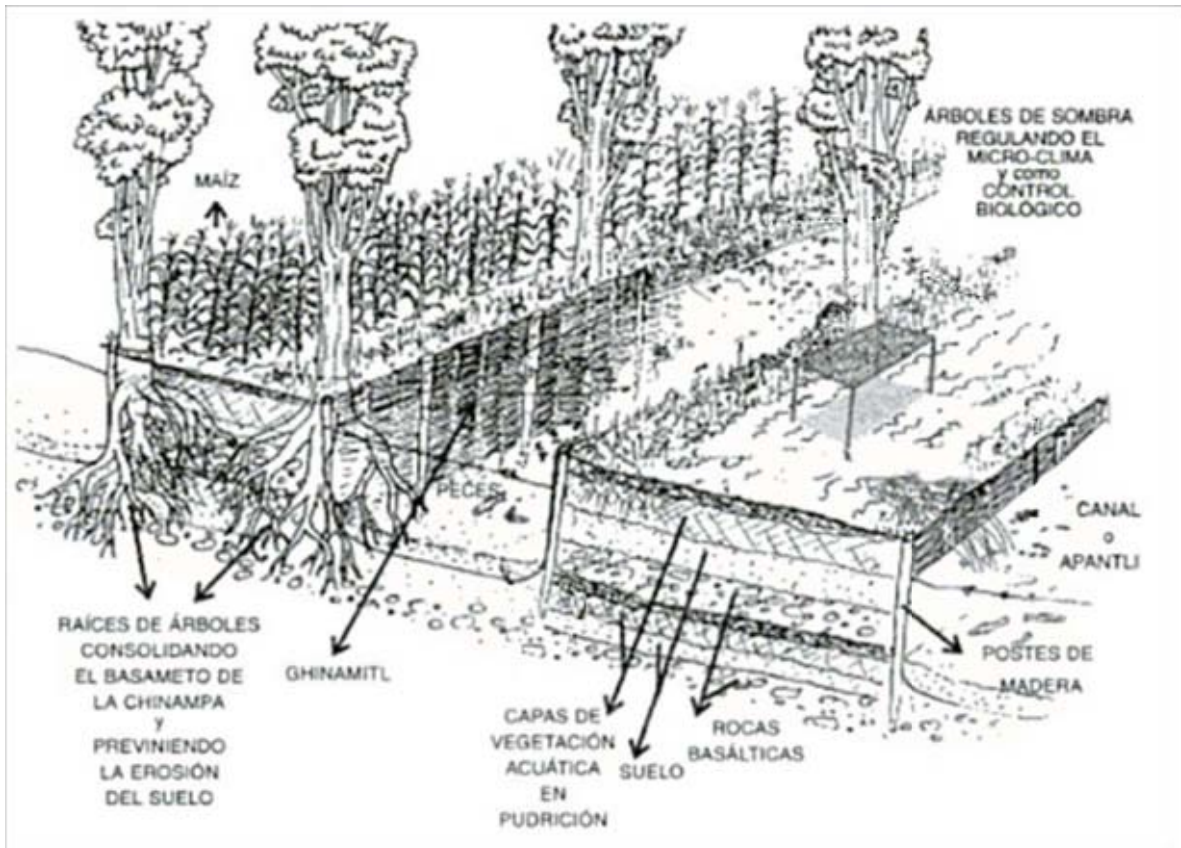


Figura 1.1. Sistema chinampero tradicional.

1.2.1. Inicios de la chinampa.

Los Xochimilcas fueron los primeros en emplear el sistema de la chinampa que consistía en una serie de islas rectangulares, al inicio eran campos flotantes donde se depositaba lodo (arcilla y materia orgánica), ramas y raíces, se colocaban plantíos de verduras y flores; estas islas se podían desplazar con remos colocándolos en lugares convenientes (Jiménez-Moreno, 2013).

Posteriormente se tuvieron que construir chinampas fijas por las condiciones cambiantes de la zona, se elegía una zona con poca profundidad, para después delimitar el perímetro con estacas largas, carrizos o se plantaban ahuejotes (*Salix bomplandiana*), sobre esta área se iba expandiendo capas de MO y césped alternados, hasta una altura de 20 cm. aproximadamente sobre el nivel del agua. Se prefería el uso del ahuejote que aporta beneficios como crear condiciones de micro-climas favorables a los cultivos, retener y conservar el suelo y da fisionomía a las chinampas (González-Pozo, 2010; Jiménez-Moreno, 2013).

1.2.2. Chinampa actual.

Las chinampas actuales son diferentes a las prehispánicas, existen cambios en fertilización, riego, combate de plagas, variedad de cultivos, empleo del lodo, disponibilidad del agua; han adecuado la tecnología a condiciones ambientales y sociales actuales (Jiménez-Moreno, 2013).

La calidad y falta de agua en los canales promueve la salinización y/o sodificación induce el abandono de las chinampas o el desarrollo de agricultura dependiente del régimen de lluvias (de temporal), en algunos casos se utilizan en la producción de forraje que sostiene ganado, ya que al desarrollarse este pasto es difícil y costosa su erradicación (*Ibid*).

La técnica agrícola en las chinampas no ha cambiado, esta no cuenta con arado ni maquinaria moderna, la rotación de cultivos se realiza de acuerdo a los requerimientos sin embargo antes de cada siembra se extiende sobre la superficie de la chinampa lodo extraído del fondo de los canales. Este sustrato con sedimentos orgánicos que se incorporan a la chinampa durante el proceso de formación de los almácigos (Jiménez- Osornio, 1990; González-Pozo, 2008 y 2010).

1.3. SUELOS CHINAMPEROS.

Los suelos chinamperos se encuentran dentro de la unidad taxonómica de los antrosoles (Reyes-Ortigoza y García-Calderón, 2004) ya que fueron modificados por el ser humano, tienen algunas semejanzas con los suelos orgánicos o histosoles por el contenido de materia orgánica (Krasilnikov, García-Calderón *et al.* 2011).

En los suelos chinamperos el contenido de materia orgánica es alto entre 13 y 32%, debido la continua aportación de abonos orgánicos y la poca transformación que estos sufren en condiciones anaeróbicas por el exceso de agua, esta propiedad química hace que los suelos sean potencialmente fértiles, ya que aportan una gran cantidad de nutrientes entre los cuales destacan nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Ramos-Bello, Cajuste *et al.* 2001).

El color de los perfiles del suelo es negro cuando se encuentra húmedo (10YR 2/1) y varía de gris (10YR 5/1) a gris oscuro (10YR 4/1) cuando está seco. La textura varía de franco limoso a arcilloso aunque predominan las arcillas que van aumentando según la profundidad (Krasilnikov, García-Calderón *et al* 2011).

Presenta un pH alcalino y altas concentraciones de sales solubles. El estudio de Krasilnikov (2011) menciona que las zonas de San Luis Tlaxiátemalco, Tláhuac y Mixquic son consideradas severamente salinas, mientras que San Gregorio Atlapulco no presenta concentraciones de sales solubles tóxicas.

1.4. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.

La materia orgánica de los suelos se forma y acumula por incorporación de residuos vegetales a nivel de la rizosfera y por la caída de hojas, frutos, corteza de fustes, así como la incorporada por cadáveres microbianos y productos de descomposición de la fauna (Aguilera, 1989).

En el caso de las chinampas, se comienza a incorporar MO en la formación del chanamitl (cerco entretelado de varas) posteriormente se le adicionan capas de residuos de cosechas, material orgánico (lirio acuático (*sp.* introducida) mezclado con otras plantas flotantes) y agua-lodo (Martínez-Ruiz, 2004).

El suelo es un sistema complejo de muchos componentes que interactúan entre sí (David, 2008), la clasificación de la materia orgánica comprende una mezcla heterogénea de componentes biogénicos, en proporciones y estados variables, se distinguen tres formas principales de Materia Orgánica del Suelo (MOS) (*figura 1.2*):

- I. Los restos vegetales y animales en fase de descomposición microbiana (1-10%), que se encuentran en forma libre en el suelo o débilmente asociada a la fracción mineral,
- II. Las sustancias no húmicas (10-40%), que son compuestos orgánicos clasificables en categorías bioquímicas conocidas, como polisacáridos, ligninas, polímeros lípidos, proteínas, resinas, pigmentos, que son en su

mayoría de origen vegetal, aunque también pueden ser productos de síntesis de la comunidad microbiana,

- III. Las sustancias húmicas (40-60%), que constituyen el principal reservorio de carbono (C) en el suelo (Sales, 2006).

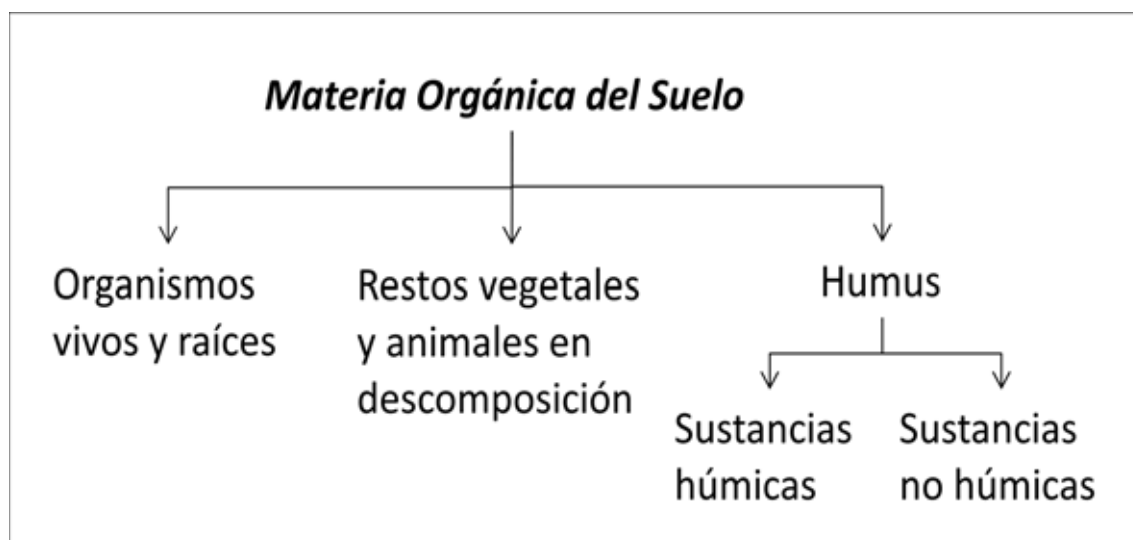


Figura 1. 2. Clasificación de la materia orgánica del suelo.

El contenido de materia orgánica del suelo puede ser evaluado de la siguiente manera:

Tabla 1.1. Categorización de la materia orgánica.

Clase	MO. (%)
<i>Muy baja</i>	< 4.0
<i>Baja</i>	4.1 - 6.0
<i>Media</i>	6.1 - 10.9
<i>Alta</i>	11.0 - 16.0
<i>Muy alta</i>	>16.1

(Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000).

La materia orgánica juega un papel clave en la fertilidad de los suelos como fuente de nutrientes para las plantas y fuente de energía para los microorganismos, y a través de funciones de tipo biológico, químico y físico (Sales, 2006):

- Velocidad de infiltración del agua al suelo
- Estructura del suelo
- Regulador de pH

- Aireación de raíces
- Microorganismos del suelo
- Capacidad de fijación de nutrientes (Aguilera, 1989).

1.4.1. Descomposición de la materia orgánica

La materia orgánica fresca llega al suelo por crecimiento o incorporación de material vegetal, donde participan la energía del sol y los microorganismos que transforman los nutrientes minerales del suelo, al final se incorporan restos animales que son rápidamente atacados por los microorganismos y comienza su descomposición, donde se distinguen tres procesos básicos:

- A. Despolimerización, ruptura de compuestos orgánicos grandes (hidratos de carbono, proteínas) en unidades fundamentales (azúcares, aminoácidos).
- B. Mineralización, descomposición de la materia orgánica del suelo donde los nutrientes regresan al suelo en forma asimilable para las plantas.
- C. Humificación, donde los restos de moléculas orgánicas complejas (difíciles de descomponer) como la lignina, se unen de forma desordenada (se polimerizan), y se forman los ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Almedros, 2000; Thompson, 2002).

En la descomposición de materia orgánica del suelo hay oxidación de carbono por organismos heterótrofos lo que convierte la materia orgánica en partículas finamente divididas, también disminuye el tamaño de los organismos (Bonh, McNeal *et al.* 1993).

1.4.2. Composición química de los restos vegetales.

La materia orgánica sujeta a la degradación microbiana proviene de diferentes fuentes, de remanentes vegetales, de restos y excreciones animales, la diversidad de los materiales vegetales representa para los organismos una variedad de sustancias que

son física y químicamente heterogéneas, la composición puede variar según la edad y las funciones del órgano vegetal, generalmente se dividen en siete categorías:

- Celulosa, el constituyente químico más abundante, que varía entre el 15 y el 60% del peso seco.
- Hemicelulosa, alcanza del 10 al 30% del peso.
- Lignina, es del 5 al 30% de la planta.
- Fracción soluble en agua, en la que se incluyen azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos, constituyen del 5 al 30 % del peso de la planta.
- Constituyentes solubles en éter y alcohol, que contiene grasas, aceite, ceras, resinas y una serie de pigmentos.
- Proteínas que tienen en su estructura parte del nitrógeno y del azufre y
- Fracción mineral (cenizas), los constituyentes minerales varían desde el 1 al 13% del peso total (Brady, 1999; FAO, 2014).

La composición química de los residuos de los cultivos y la materia orgánica promueve diferente descomposición, rápida en azúcares, almidones y proteínas, lenta en el caso de celulosa, grasas, ceras y resinas o muy lenta en lignina (FAO, 2014). Las plantas leguminosas muy ricas en proteínas, se descomponen rápidamente y liberan nitrógeno durante el proceso mientras que la abundancia de resinas y taninos en espículas de pinos afectan el desarrollo bacteriano y la descomposición es lenta (*figura 1.3*) (Duchaufour, 1978).

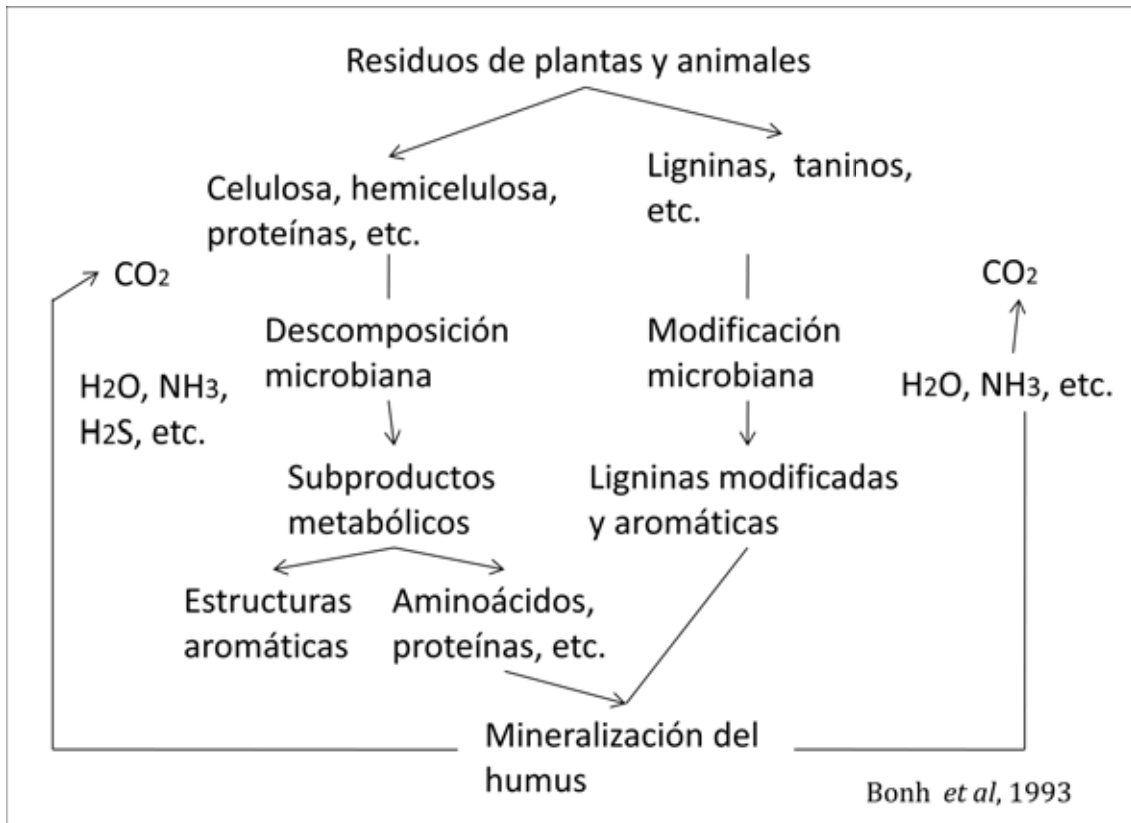


Figura 1.3. Descomposición de la materia orgánica del suelo.

1.5. HUMUS

La descomposición sucesiva de material muerto y materia orgánica modifica la forma de la materia orgánica compleja llamada humus, que es una mezcla de sustancias de color pardo a casi negro, amorfas y coloidales, resistente a los microorganismos (Bonh, McNeal *et al.* 1993).

El humus está formado por sustancias húmicas complejas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas) que permanecen en el suelo después de la descomposición de los residuos. Las sustancias no húmicas son moléculas orgánicas directamente liberadas desde células de residuos frescos tales como proteínas, aminoácidos, azúcares y almidones, que son fácilmente consumidos por los organismos (Melo-López, 2006).

1.5.1. Formación del humus.

Para entender la forma en que se sintetizan las sustancias húmicas es de gran utilidad el ciclo del carbono y los cambios que ocurren cuando los residuos vegetales y de otro tipo de restos orgánicos son sometidos a la descomposición por los microorganismos del suelo (Stevenson, 1982).

Se piensa que existen al menos tres hipótesis o vías principales en la formación de las sustancias húmicas durante la composición de los restos orgánicos.

Teoría de Lignina.

De acuerdo a esta teoría, la lignina (*figura 1.4*) es utilizada en forma incompleta por los microorganismos del suelo, y el residuo pasa a formar parte del humus, entre las modificaciones sufridas se incluyen pérdida de grupos metil (-OCH₃) y la generación de hidroxifenoles, así como la oxidación de cadenas alifáticas laterales que generan grupos carboxilo (-COOH), el material modificado está sujeto a cambios futuros desconocidos que dan origen primero AH y luego AF (Melo-López, 2006; David, 2008).

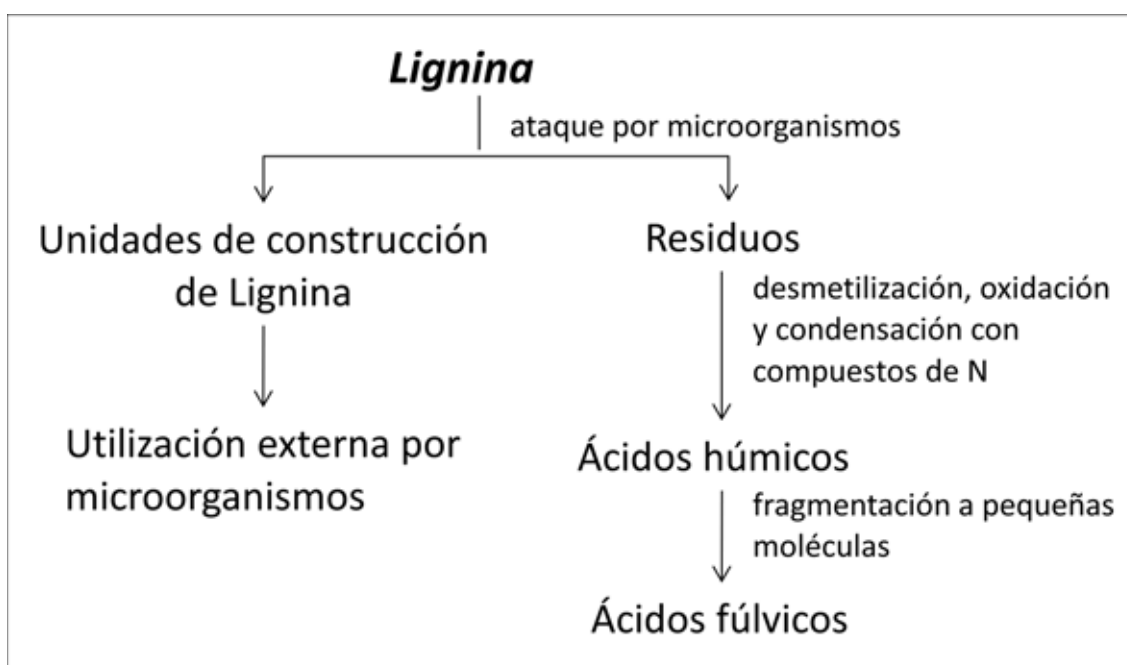


Figura 1. 4. Teoría de la formación de sustancias húmicas a partir de la lignina.

Teoría de los polifenoles.

Esta teoría incluye dos mecanismos cuya diferencia es el origen de los polifenoles (figura 1.5); en uno de los mecanismos, los aldehídos y ácidos fenólicos, que se generan durante la degradación de las ligninas por los microorganismos del suelo, producen quinonas por reacción enzimática, las que se polimerizan formando macromoléculas del tipo de las SH. El otro mecanismo es similar, excepto que los compuestos polifenoles son sintetizados por microorganismos a partir de sustratos distintos de la lignina (por ejemplo celulosa) (MacCarthy, 2001).

Los polifenoles son oxidados enzimáticamente a quinonas y posteriormente convertidas en SH. De acuerdo con estos conceptos, las quinonas provenientes de la lignina y las sintetizadas por los microorganismos son los bloques principales a partir de los cuales se forman las sustancias húmicas (Melo-López, 2006; David, 2008).

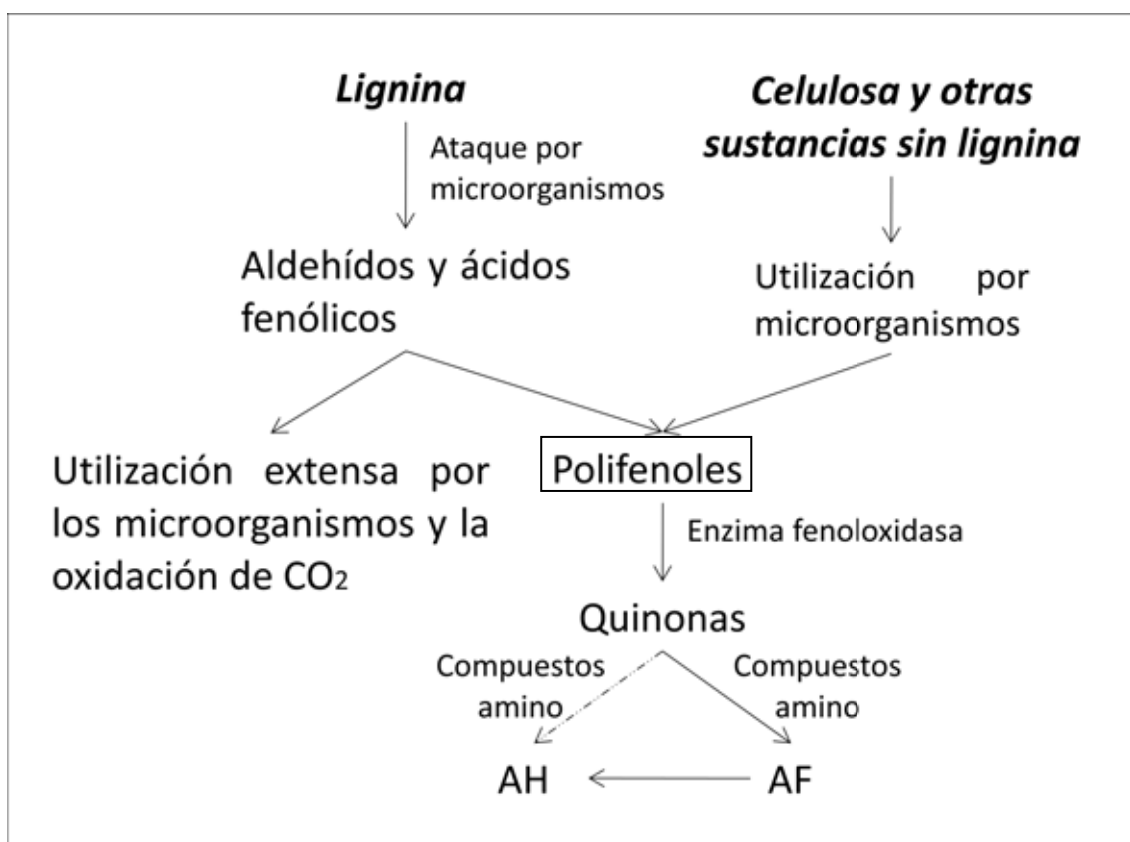


Figura 1.5. Ruta de formación de humus basada en quinonas.

Teoría de Azúcares y aminoácidos.

Stevenson (1994) propone un tercer mecanismo para la formación del humus, de acuerdo a esta teoría, los azúcares y los aminoácidos (*figura 1.6*) generados en el metabolismo microbiano, son condensados por una vía no enzimática generando polímeros pardos de tipo de los formados durante la deshidratación de ciertos productos alimenticios a temperatura moderada. La principal objeción a esta teoría es que a temperatura ambiente las reacciones de condensación son más lentas. Sin embargo, los cambios drásticos y frecuentes en el ambiente del suelo y la presencia de ciertos minerales pueden catalizarlas (Melo-López, 2006; David, 2008).

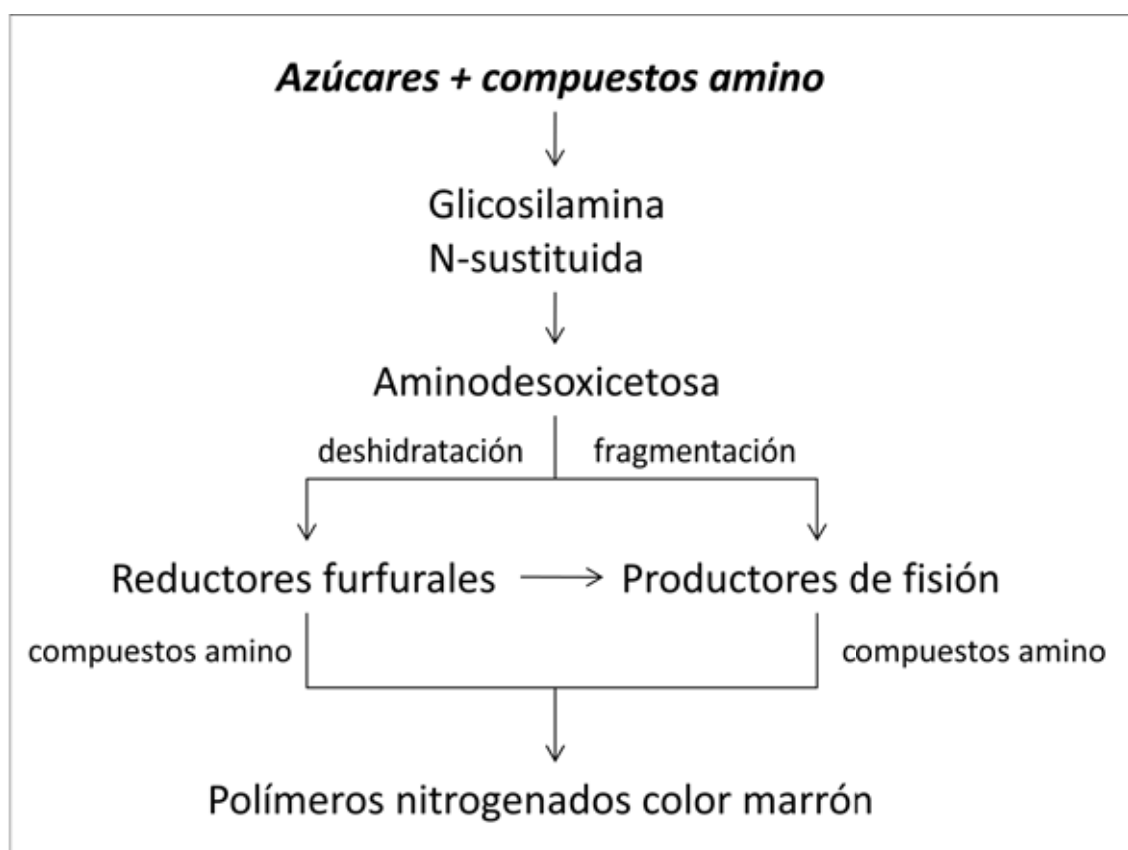


Figura 1.6. Ruta de la formación de humus propuesta por Stevenson basada en la condensación de amino-compuestos a partir de azúcares.

1.5.2. Características del humus.

Las características más importantes del humus, posee un color café a negro oscuro, es prácticamente insoluble en agua y se disuelve en gran parte en una solución alcalina,

contiene una cantidad relativamente elevada de carbono producido por plantas animales y cuerpos microbianos (David, 2008).

El humus se caracteriza por su alta capacidad de intercambio, de combinarse con varios constituyentes inorgánicos del suelo, de absorber agua y de expandirse según las condiciones circundantes. Además posee propiedades físico-químicas que lo convierten en un constituyente valioso de sustratos que nutren la vida de los organismos (David, 2008).

1.5.3. Propiedades Funciones del humus.

El humus otorga al suelo algunas de sus más importantes propiedades físicas, químicas y biológicas.

Las funciones físicas sobre el suelo son la formación de agregados, da estabilidad estructural, se une a las arcillas y forma el complejo de cambio, favorece la penetración de agua y su retención esto disminuye la erosión y favorece el intercambio gaseoso (Julca-Otiniano, Meneses-Florian *et al.* 2006).

Químicamente influye en la solubilidad de ciertos minerales, formando compuestos con algunos elementos como el hierro, el cual se vuelve más disponible para la vida vegetal, además, incrementa las propiedades de amortiguación del suelo (MacCarthy, 2001.)

Y dentro de las funciones biológicas, favorece la transformación del suelo (proceso de mineralización), el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de fuente energética para el desarrollo de los microorganismos y abastece un lento pero continuo flujo de nutrientes para las plantas (Julca-Otiniano, Meneses-Florian *et al.* 2006).

1.6. SUSTANCIAS HÚMICAS.

Las sustancias húmicas (SH) son un sistema macromolecular complejo y sus propiedades no pueden ser determinadas ni expresadas en términos de sus unidades independientes (Rodríguez-Torres, 2008).

Son polímeros de alto peso molecular e intensa coloración oscura (Stevenson, 1994), los colores pardo oscuros a negros son característicos de sustancias húmicas de peso molecular altos (5,000–300,000 Dalton), en cambio las fracciones de peso moleculares bajos (2,000–5,000 Dalton) poseen colores pardos claros o amarillentos (Urzúa, 1978).

Constituyen el 85% de la fracción orgánica, se forman posterior a la presencia de residuos que llegan al suelo en compañía de compuestos como proteínas, lípidos, carbohidratos, ácidos nucleídos, ligninas, etc. (Fernández-Zabala, 2003).

Se forman por procesos bioquímicos a partir de residuos de origen animal o vegetal, resistentes a la degradación microbiológica o química (David, 2008) su composición química es variable, por lo que su caracterización molecular aporta datos de interés acerca de la estabilidad y la calidad ambiental de los ecosistemas, de la fertilidad potencial y la actividad físico químico en los suelos (Stevenson, 1994; Sales, 2006).

1.6.1. Clasificación de las sustancias húmicas.

Desde un punto de vista geológico, las sustancias húmicas son los intermediarios químicos entre las plantas y los fósiles, son el último producto de descomposición natural aeróbica de toda la materia orgánica (Melo-López, 2006).

El estudio de las sustancias húmicas en los últimos 100 años según criterios de Kononova basados en características de solubilidad en sistemas acuosos (Hayes y Clapp, 2001) se clasifica y fracciona en los siguientes grupos:

- ✓ ácidos húmicos (AH)

- ✓ ácidos fúlvicos (AF)
- ✓ huminas (Hm)

Ácido húmico.

Constituido por asociaciones de moléculas predominantemente hidrofóbicas (cadenas polimetilénicas, ácidos grasos, compuestos esteroideos) que estabilizan a pH neutro por fuerzas hidrofóbicas (Van der Waals, PI-PI), su crecimiento ocurre cuando se forman enlaces intramoleculares de hidrogeno a valores bajos de pH (Piccolo, 2001).

Es soluble en una solución alcalina, pero precipita cuando se acidifica el extracto. Es de color pardo oscuro, de alto peso molecular (5,000–300,000 Dalton), altamente polimerizado, íntimamente ligado a arcillas y resistente a la degradación. Contiene alrededor de 50-62% de carbono (David, 2008; Rodríguez-Torres, 2008).

En la *figura 1.7* se presenta la estructura de ácido húmico

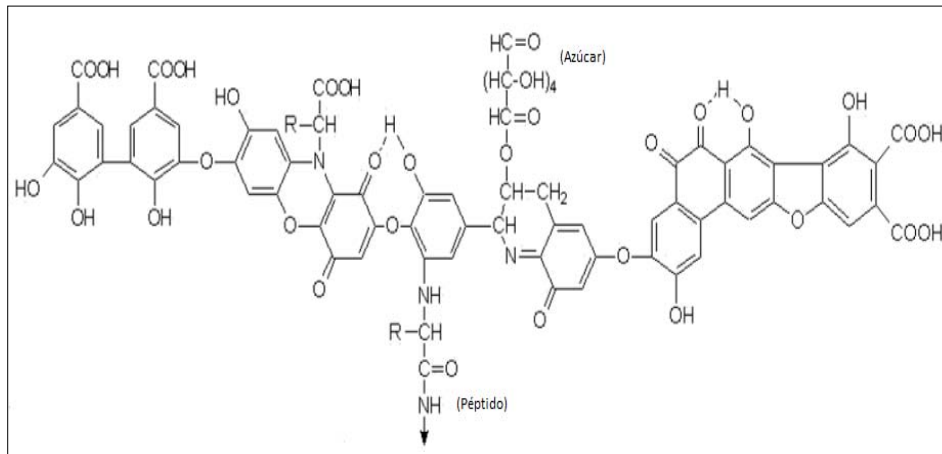


Figura 1.7. Estructura química del ácido húmico (Stevenson, 1982).

Ácido fúlvico.

Considerado como asociaciones de pequeñas moléculas hidrofílicas con bastantes grupos funcionales, los ácidos permiten su dispersión en solución a cualquier valor de pH. (Fernández-Zabala, 2003).

Soluble en soluciones de acuosas a acuosa acidificada, en ácidos y bases; es de color pardo-amarillento, de menor peso molecular (900–5,000 Dalton), tiene cerca de 43-52% de carbono (MacCarthy, 2001; Rodríguez-Torres, 2008). Su estructura se representa en la *figura 1. 8*:

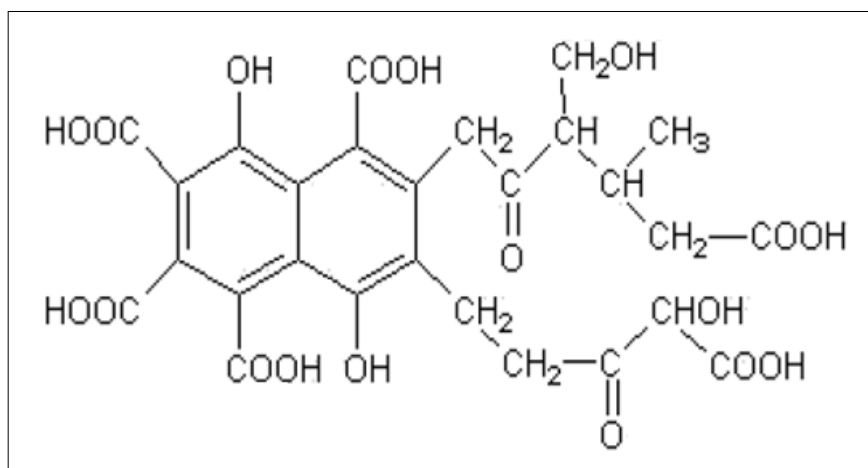


Figura 1. 8. Estructura del ácido fúlvico (David, 2008).

Una diferencia importante es que el oxígeno en los ácidos fúlvicos se encuentra asociado principalmente a grupos funcionales conocidos (COOH, OH C=O), mientras que en los ácidos húmicos está en una alta proporción como componente estructural (David, 2008).

En estado natural, los ácidos húmicos y fúlvicos están íntimamente ligados a arcillas (Guerrero, 1996), la composición elemental de las sustancias húmicas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1.2. Composición elemental de las sustancias húmicas (Stevenson, 1982)

	C	H	O	N
	%			
Ácido Fúlvico	44 – 49	3,5 - 5,0	44 – 49	2,0 -4,0
Ácido Húmico	52 – 62	3,0 - 5,5	30 -33	3,5 -5,0

Humina.

Constituyen la parte no soluble, y por lo tanto no extraíble de las sustancias húmicas, esta fracción del humus es de menor aromaticidad debido al mayor contenido de polisacáridos alifáticos presentes (Hayes y Clapp, 2001; Rodríguez-Torres, 2008).

Cuando en el suelo existen suficiente cantidad de hierro activo, el punto final de los procesos de polimerización es la formación de la humina de insolubilización (o neoformación), que posee núcleos aromáticos muy condensados pero pobres en cadenas alifáticas y en grupos funcionales como carboxilo (-COOH), constituyéndose la formación de la humina en un proceso de carácter fisicoquímico. Además, la mayor proporción de los precursores alifáticos evolucionan por separado constituyendo las huminas microbianas no extraíbles (Bendeck, 1996; Duchaufour, 1978) (figura 1.9).

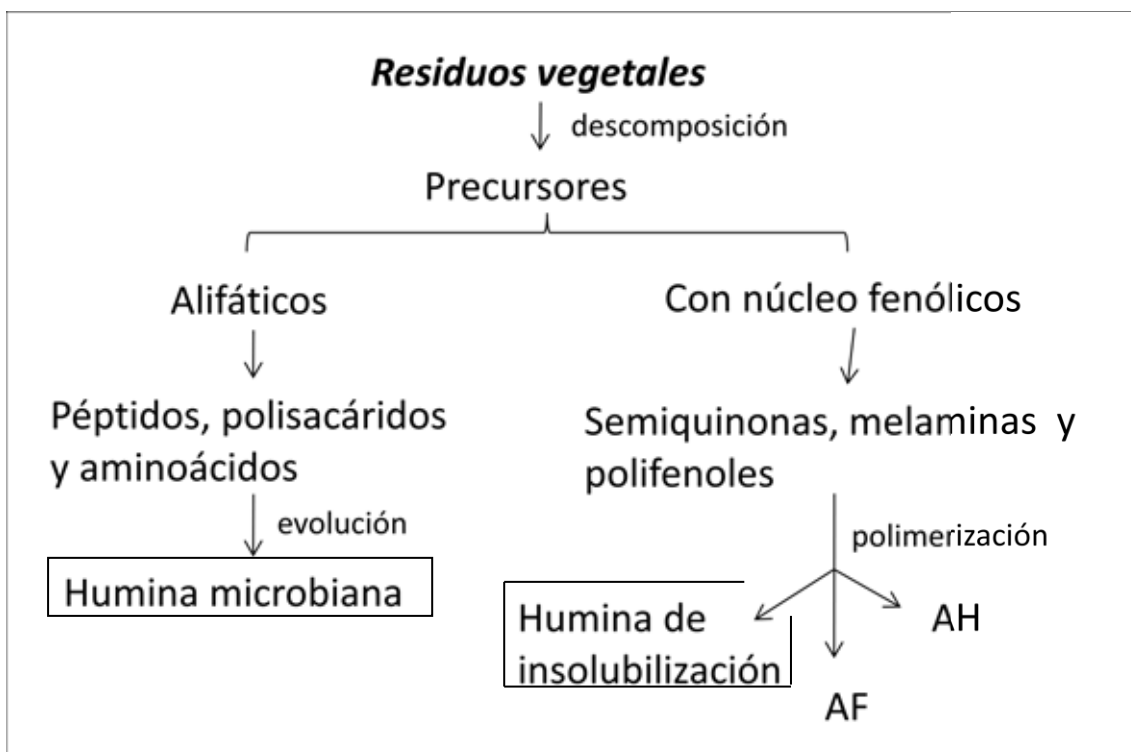


Figura 1.9. Formación de la humina microbiana y la humina de insolubilización.

La humina heredada es muy parecida en su composición a la materia orgánica fresca, la unión con las arcillas es de poca estabilidad y se considera como vía indirecta de humificación y consiste principalmente en la pérdida de grupos metoxilos de la lignina,

con adquisición de grupos carbonilos; la humina formada seguirá el camino de la mineralización dando origen a compuestos como dióxido de carbono, agua y sales como nitratos, sulfatos, fosfatos entre otros (Bendeck, 1996).

Las sustancias húmicas tiene carácter ácido, debido a la presencia de grupos funcionales carboxílicos y fenólicos; siendo mayor la acidez en ácidos fúlvicos (Stevenson, 1982). Estas moléculas son muy sensibles a la oxidación, produciendo grandes cantidades de CO₂, H₂O, ácido acético, ácido oxálico, durante la descomposición (Urzúa, 1978).

Es de esperar que factores como la temperatura, pH del suelo, tipo de roca, vegetación y edad del suelo influyan en la composición de las sustancias húmicas (Izquierdo, Antelo *et al.* 2004).

1.7. JUSTIFICACIÓN.

El suelo es un recurso no renovable y en la historia hay sobrados ejemplos de decadencia de culturas milenarias por el mal manejo. En Xochimilco se han hechos diversos estudios multidisciplinarios tratando de entender cómo funciona la zona lacustre a través de proyectos a favor de su conservación, a pesar de los múltiples esfuerzos por mejorar la zona, esta tiene síntomas alarmantes de degradación por sus características de drenaje y manejo, la importancia de este trabajo radica en aportar mayor información actual sobre el proceso de humificación-mineralización poco conocido y las condiciones que modifican estos procesos en suelos del “Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Así como para promover medidas de conservación del suelo.

1.8. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.

El objetivo general de este trabajo fue investigar, caracterizar y evaluar la evolución de las fracciones orgánicas en suelos de chinampas (humedal) con diferentes usos (vegetación con pastizal y sin trabajar).

Los objetivos particulares son los siguientes:

- Caracterizar las fracciones de las sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas) cuantificando el porcentaje de carbono.
- Determinar la evolución de las sustancias húmicas a través de las densidades ópticas de los ácidos húmicos y el cálculo de la relación E4/E6 (465/665 nm) además del índice de humificación (CAH/CAF).
- Analizar y comparar los resultados para establecer si existen diferencias en los procesos de humificación y mineralización con los diferentes uso de suelo, ubicación o características ambientales.
- Con los resultados participar en la propuesta de recomendaciones para la mejor conservación de la zona.

Hipótesis.

Si en los suelos de chinampa se adiciona constantemente materia orgánica (MO) para mantener la fertilidad de los suelos, entonces los porcentajes de carbono de las fracciones húmicas serán altos, estos serán más evidentes en suelos de vegetación de pastizal debido a la mayor entrada de restos vegetales que en el uso de suelo sin trabajar además el alto contenido de humedad y poca aireación en las chinampas promoverá mineralización reducida, haciendo evidente el proceso de humificación.

Capítulo 2. Zona de estudio.

El Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, se localiza en la parte centro-sureste del Distrito Federal, México; ubicado en las porciones centro y norte de la Delegación Política de Xochimilco. La zona presenta diversos accesos, al Norte y Este colinda con las delegaciones políticas Iztapalapa y Tláhuac, y al Noroeste con las de Coyocán y Tlálpán (Aranda, 2004).

El sistema lacustre está incluido en un polígono, cuya superficie es de 2,657 ha., las coordenadas geográficas extremas (hacia los cuatro puntos cardinales) $19^{\circ}15'11''$ y $19^{\circ}19'15''$ N y $99^{\circ}00'58''$ y $99^{\circ}07'08''$ O (figura 2.1), coordenadas central aproximada $19^{\circ}17'N$ $99^{\circ}04'O$, la altitud promedio es de 2,240m.s.n.m. (INEGI, 2008).

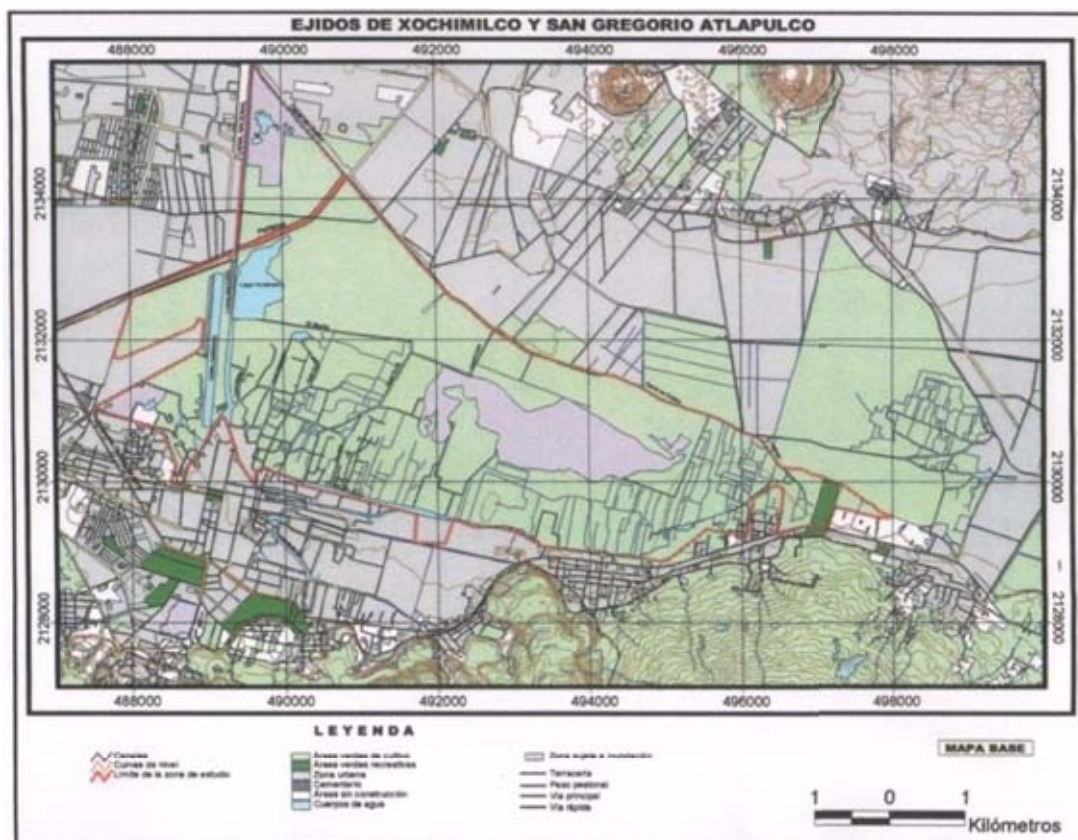


Figura 2.1. Localización del polígono RAMSAR 1363 Sistema Lacustre de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, México, D.F.

2.1 GEOLOGÍA.

La formación geológica se dio en el Cuaternario y pertenece al eje Neovolcánico Transversal, el Sistema Lacustre Ejido de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco constituye un ecosistema remanente de la cuenca de México formada por planicies inundadas naturales y cuerpos de agua inducidos y es un área natural de descarga del flujo subterráneo, la profundidad varía considerablemente, en algunos sitios es de 60 cm, como algunos canales o zonas inundadas, o el caso de algunas lagunas cuya profundidad va de 3 a 6 m. (Aranda, 2004).

2.2. CLIMA.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), el clima corresponde a C (W₂)(w)b(i') (*figura 2.2*), templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación pluvial media anual es de 620.4mm, y la mayor parte se concentra entre los meses de mayo y octubre. La temperatura media anual oscila entre 12° y 18°C, con poca variación de las temperaturas medias mensuales, los vientos dominantes son del SE y alcanza su mayor intensidad en los meses de febrero, marzo y abril, entre noviembre y enero pueden presentarse heladas (Aranda, 2004).

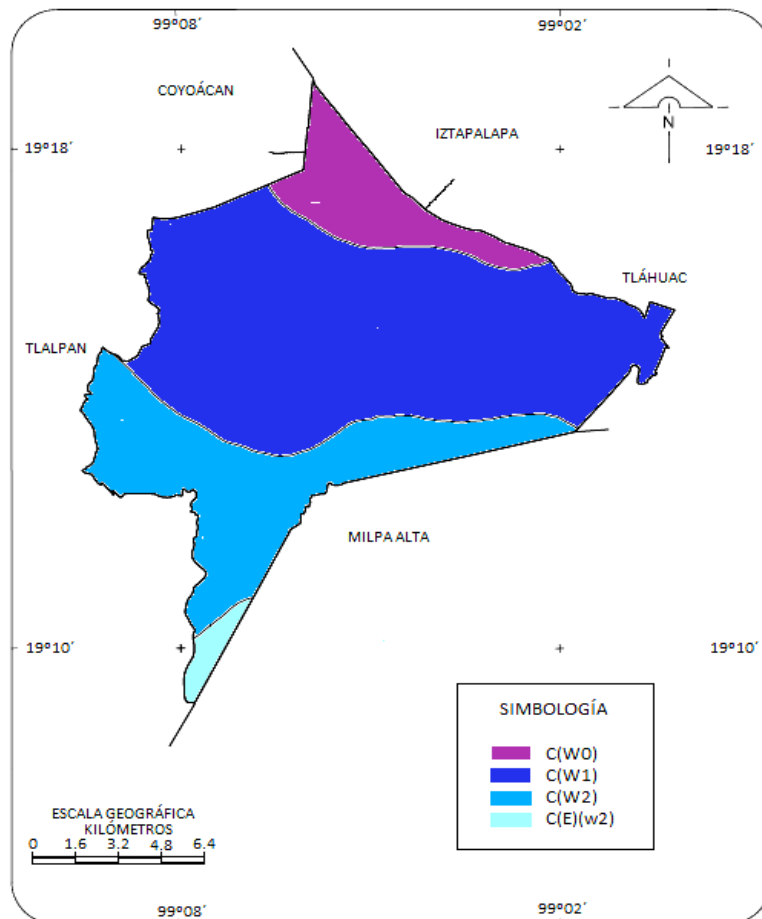


Figura 2.2. Mapa de clima de Xochimilco (Fuente: INEGI, modificación propia).ç

2.3. VEGETACIÓN.

La superficie vegetal de Xochimilco comprende 64.96% de vegetación agrícola donde predominan la espinaca (*Spinacea oleracea.*) y el maíz (*Zea mays*), 6.23% de pastizales, 5.55% son bosques donde predominan las especies de oyamel (*Abies religiosa*), madroño (*Arbutus xalapensis*), pino-ocete (*Pinus Moctezuma*) y encino (*Quercus spp.*) y 23.36% es otro tipo de vegetación (INEGI, 2008).

Vegetación acuática está representada por 14 especies pertenecientes a las familias de las que destacan el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), el ombligo de Venus (*Hidrocoty leverticalata*), el chichicastle (*Lemna gibba*) y especies del genero *Nymphae* (Merlo-Galeazzi, 2010).

Vegetación terrestre, asociada a las corrientes de agua y en las chinampas, compuestas por especies leñosas como ahuejote (*Salix bonplandiana*), asimismo se

registran especies introducidas que se desarrollan en sitios propiamente secos, entre ellas ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), sauce llorón (*Salix babylonica*), casuarina (*Cassuarina equisetifolia*), eucalipto (*Eucaliptus spp*) y fresno (*Fraxinus udhei*) (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Vegetación halófila (vegetación en suelos salinos), está representada por pasto salado (*Distichlis spicata*) y zacate (*Eragrostis obtusiflora*) siendo la primera la especie dominante del sitio (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

2.4. HIDROLOGÍA.

Xochimilco pertenece a la región del Pánuco, dentro de la cuenca hidrológica del río Moctezuma y la subcuenca Lago Texcoco-Zumpango (INEGI, 2008), el Lago de Xochimilco tuvo una forma irregular, alargado de oriente a poniente con una área total de 2,200 has aproximadamente, en la actualidad lo constituye una serie de canales conectados entre sí con una longitud aproximada de 203 km que rodean a las chinampas, entre los más importantes se encuentran: Cuemanco, Canal Nacional, Chalco, Del bordo, Apatlaco, San Sebastián, Ampampilco, Texhuilo, Zacapa, Caltongo, Santa Cruz y Japón. Las lagunas principales son Caltongo, Del Toro y el lago de Conservación de Flora, Fauna y Acuacultura de San Gregorio Atlapulco (*figura 2.3*) (INECOL, 2002).

Actualmente, los canales y lagunas son alimentados artificialmente con agua tratada de las plantas del Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco y San Lorenzo Tezonco, otra fuente de abastecimiento son los escurrimientos superficiales originados por los ríos Santiago, San Lucas y San Gregorio, que se forman en las estribaciones de la sierra Ajusco-Cuautzin, existen con zonas de acalotes (canales que se limpian de hierbas para navegar), planicies, lagunas degradadas o en proceso de hundimiento en a zona de San Gregorio y lagunas degradas en Xochimilco oeste y este (Aranda, 2004).

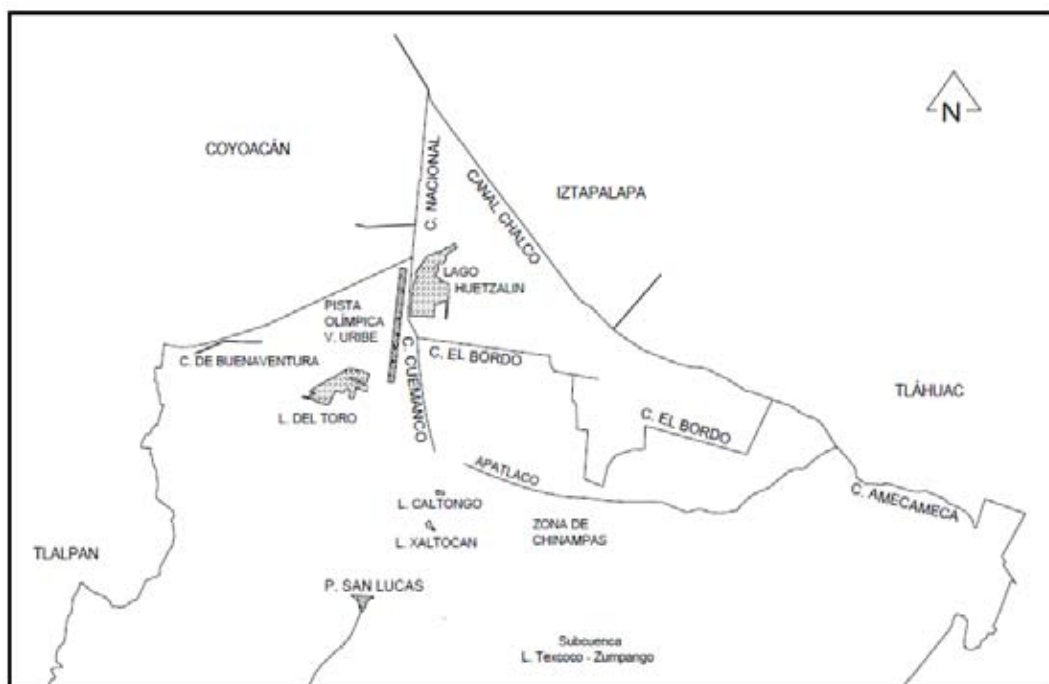


Figura 2.3. Sistema hidrológico de Xochimilco.

2.5. SUELO.

Los suelos (*figura 2.4*) son derivados de aluviones fluviales y lacustres, ricos en sales y sodio, los valores de pH tienden a aumentar con la profundidad, fluctuando de neutros a ligeramente alcalinos, estos suelos presentan alrededor del 50% de las cenizas volcánicas, con textura que va desde arenosas hasta limo-arcillosas o más finas, lo que confiere la propiedad de retener una alta cantidad de agua, presentan un alto contenido de MO, son de color oscuro (Aranda, 2004), algunos autores clasifican estos suelos como Antrosoles por el proceso de formación de chinampas y la influencia humana (INECOL, 2002).

De acuerdo con el sistema de clasificación FAO-UNESCO se clasifican en:

- Histosoles eutricos, se caracterizan por presentar una capa superior oscura rica en materia orgánica formada de hojarasca, fibras, madera; ubicados principalmente en la norte del sistema lacustre, en la zona conocida como la Ciénega Grande.
- Vertisoles pelicos y Solonchaks orticos, con una textura migajón-arcilloso, con proporciones de materia orgánica de entre 6.97 y 8.24%, el pH es de 7.8, con

una conductividad eléctrica de entre 11.5 y 19.5 ohms y con riesgo potencial de salinidad y sodificación

- Leptosoles ubicados en la parte alta de la zona sur, presentan un lecho rocoso de 10 y 50 cm de profundidad y alta pedregosidad.
- Feozem háplicos y gleyico, ubicados en suelos de pastizal en la zona lacustre sur, presentan entre 10 y 25 cm de profundidad y un contenido de MO mayor del 10%.
- Andosol mólico, se ubican al oriente del sistema lacustre en sitios muy reducidos (INECOL, 2002).

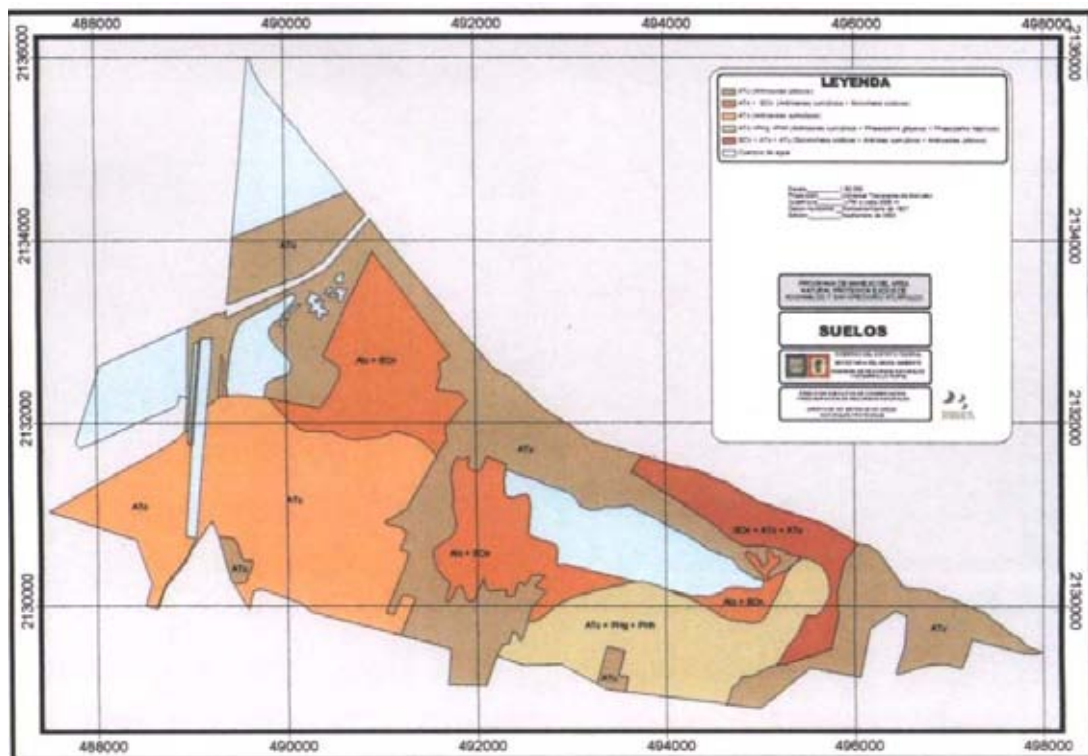


Figura 2.4. Tipos de suelo en el Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

(Fuente: Gobierno del Distrito Federal, Secretaria del Medio Ambiente, 2002).

Capítulo 3. Material y método.

3.1. MUESTREO

El trabajo se realizó en la zona de humedales de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco dentro del sitio RAMSAR 1363, estas chinampas forman parte del proyecto PAPIIT IN 218512 “Índices de Calidad en Suelos de Humedal de Tláhuac, Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”.

Los datos de salinidad fueron obtenidos dentro del mismo proyecto y forman parte de dos tesis publicadas (Arroyo, 2013; Arreguin, 2013) en la presente tesis se utilizaron para discutir la evolución del humus asociada a la de salinidad.

Las chinampas seleccionadas correspondieron a dos diferentes usos de suelo: 1. Sin trabajar (S/T) y 2. Vegetación de pastizal (VP).

Las muestras de suelo se colectaron a una profundidad de 0 a 20 cm, dentro de una malla con puntos de muestreo cada 500 m, se trabajó con 22 muestras, 15 son de uso de suelo sin trabajar y 7 con vegetación de pastizal (*tabla 3.1, figura 3.1*).

Tabla 3.1. Coordenadas geográficas de las muestras con usos de suelo diferentes del sitio RAMSAR 1363.

Muestra	N	O	Muestra	N	O
S/T	GMSs	GMSs	VP	GMSs	GMSs
B15	19 15 34.1	99 03 35.8	C9	19 15 49.1	99 05 07.7
B16	19 15 33.3	99 03 09.0	C17	19 15 46.7	99 02 51.4
B18	19 15 34.0	99 02 39.1	H8	19 17 10.4	99 05 25.5
C8	19 15 49.1	99 05 27.3	H9	19 17 10.4	99 05 08.4
C14	19 15 49.1	99 03 42.7	I9	19 17 26.7	99 05 08.4
D9	19 16 05.3	99 05 08.3	I10	19 17 26.7	99 04 51.2
E7	19 16 19.1	99 05 31.1	J9	19 17 42.9	99 05 08.4
E10	19 16 43.4	99 05 00.0			
F7	19 16 35.9	99 05 42.6			
F11	19 16 38.6	99 04 34.1			
F16	19 16 38.6	99 04 34.1			
G6	19 16 57.4	99 05 59.6			
G11	19 16 54.1	99 04 34.1			
H7	19 17 10.4	99 05 42.6			

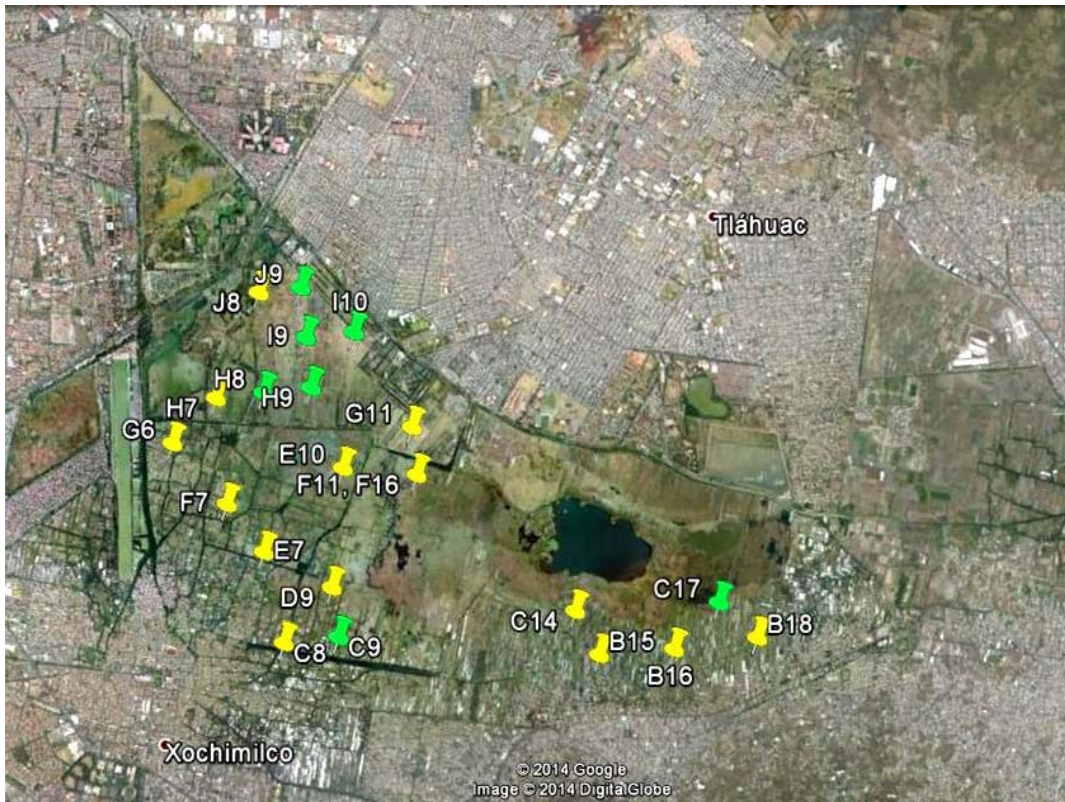


Figura 3.1. Sitio de estudio, sitio RAMSAR 1363. Las marcas de color amarillo son las muestras del uso de suelo sin trabajar, las marcas de color verde el uso de suelo con vegetación de pastizal.

3.2. TRABAJO DE LABORATORIO.

3.2.1. Tamizado

Las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente por 48 horas, se les retiraron fragmentos rocosos, se rompieron los agregados y se tamizaron con malla No. 10 (apertura de 2 mm).

3.2.2. Extracción de Sustancias Húmicas

Método de utilizado Kononova Bel'chikova, consistió en pesar 5gr de muestra de suelo se le adicionaron 400mL de solución 0.1 N de hidróxido de sodio y pirofosfato de sodio ($\text{NaOH} + \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, solución extractante), las muestras se agitaron durante 24 horas y se dejaron reposar por 30 min y se decantaron.

El decantado se centrifugo a 2,800 rpm. durante 10 min., se extrajo todo el líquido (AH+AF), se aforó al volumen más cercano al obtenido (alrededor de 370 mL), de aquí se tomaron dos alícuotas. La primera alícuota (AH+AF) fue de 5, 10 o 20 mL dependiendo de la tonalidad clara u oscura, se determinó el contenido de carbono vía húmeda por el método de Walkley y Black; la segunda alícuota fue de 250 mL, la cual se acidifico con ácido clorhídrico (HCl) 1:1 hasta pH 1, se centrifugo a 2,800rpm durante 5 min., se descartó el sobrenadante, el botón (los AH) se lava dos veces con agua desionizada y se centrifuga, se agrega agua desionizada y seis lentejas de NaOH hasta pH 12 se centrifuga a 12,000 rpm. durante 10 min., el sobrenadante se guarda (son los AH).

Los ácidos húmicos obtenidos se dializaron en agua dentro de membranas de diálisis Spectrapor, con una sensibilidad de paso de 6,000 a 8,000 UD, con el fin de remover las sales se cambiaba el agua a diario (durante 5 días) hasta eliminar por completo la presencia de cloruros cuya existencia se determinó por la turbidez generada en el agua al interaccionar con una solución de nitrato de plata 0.1 N (AgNO_3).

Los ácidos húmicos dializados se aforaron a 125 mL con bicarbonato de sodio (NaHCO_3) al 0.02 N. En esta solución se realizaron dos cuantificaciones, la primera, fue para determinar el contenido de carbono de AH, por el método de Walkley y Black en donde se utilizó una alícuota de 5, 10 o 20 mL dependiendo del color de la solución; la segunda parte del aforado (125 mL) fue para evaluar el coeficiente de evolución de AH que se basa en la complejidad estructural, para ello se pipeteaba ciertos mililitros dependiendo del factor de corrección del carbono y se aforo a 100 mL con NaHCO_3 , se dejo reposar en la oscura por 5 días, se determinaron los valores de la densidad óptica en el espectro de luz visible (450 nm a 726 nm).

La espectroscopia UV-Visible proporciona información sobre la estructura de la macromolécula de las SH y sobre su evolución, la dispersión de luz monocromática en una solución diluida de macromoléculas está relacionada con el peso, tamaño e interacciones de las partículas en solución.

3.2.3. Cálculos Matemáticos.

Para determinar el porcentaje de carbono de AH y AH+AF se ocupó la siguiente fórmula

$$\%C = (\text{mL de } K_2Cr_2O_7 - (\text{mL de } FeSO_4 * N_{real}) / \text{gr de suelo}) * 0,399$$

En donde N_{real} es 10 (volumen teórico) por 0,5 (normalidad teórica) entre mL de $FeSO_4$ (gastado en el blanco), %C es porcentaje de carbono, mL de $K_2Cr_2O_7$ es mL de dicromato agregado, mL de $FeSO_4$ es mL de sulfato ferroso gastado en la titulación, N es normalidad real del sulfato ferroso.

Para el porcentaje de carbono de AF se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%CAF = \%CAH+CAF - \%CAH$$

En donde % CAF es el porcentaje de carbono de los ácidos fúlvicos, % CAH+CAF es el porcentaje de carbono del material humificado y % CAH es el porcentaje de carbono en los ácidos húmicos.

Y para determinar el porcentaje de huminas:

$$\%Hm = \%C - \%AH+AF$$

Donde %C es el porcentaje de carbono total del suelo, % AH+AF es el porcentaje de ácidos húmicos más ácidos fúlvicos.

Para evaluar el grado de evolución de los AH se calculó la relación de absorbancia E4/E6 (465 y 665nm), y se graficaron los valores.

3.2.4. Análisis estadísticos.

Las variables químicas fueron evaluadas sobre 22 sitios de suelos sin trabajar (ST) y de vegetación con pastizal (VP), a fin de evaluar la relación entre variables y el patrón de distribución de los sitios se realizó análisis de componentes principales (ACP).

Entre las variables químicas se evaluó: porcentaje de carbono (%C), materia orgánica (MO), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), suma de ácidos húmicos y fúlvicos (AH+AF), huminas (Hm), conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno

(pH) e índice de aromaticidad (E4/E6). El análisis de componentes principales se procesó con el programa STATISTICA 8.0.

Capítulo 4. Resultados y discusiones.

4.1. Análisis de componentes.

Al aplicar el ACP sobre una matriz de 22 muestras de suelos de chinampa sobre la cual se miden 9 variables activas, se encuentra que la varianza del primer componente principal representa 50.63 % de la varianza total, mientras que la varianza del segundo componente representa el 21.19 %, de manera que se tuvo una variabilidad acumulada de 71.82 %.

Se observa en el círculo de correlaciones, la representación gráfica de las variables sobre el círculo cero y radio uno (*figura 4.1*), las variables MO y C se encuentran estrechamente correlacionadas entre sí (r está próximo a 1), AF y AH+AF están positivamente correlacionadas, AH y CE no están correlacionadas (r está próximo a 0), E4/E6 y Hm presentan una correlación alta, aunque no cercana a uno y pH esta negativamente correlacionado.

El primer componente principal se observa que los factores C y MO tienen el más alto coeficiente de correlación (0.918), seguido de AH+AF (0.845), AF (0.814) y Hm (0.772).

El segundo componente principal el factor que más contribuye es AH tiene el coeficiente de correlación alto (0.789), los factores que tiene poseen una correlación negativa son CE (-0.652) y E4/E6 (-0.623), por otro lado el factor pH (-0.115) por tener un coeficiente de correlación cercano a cero no es representativa para el 2do componente.

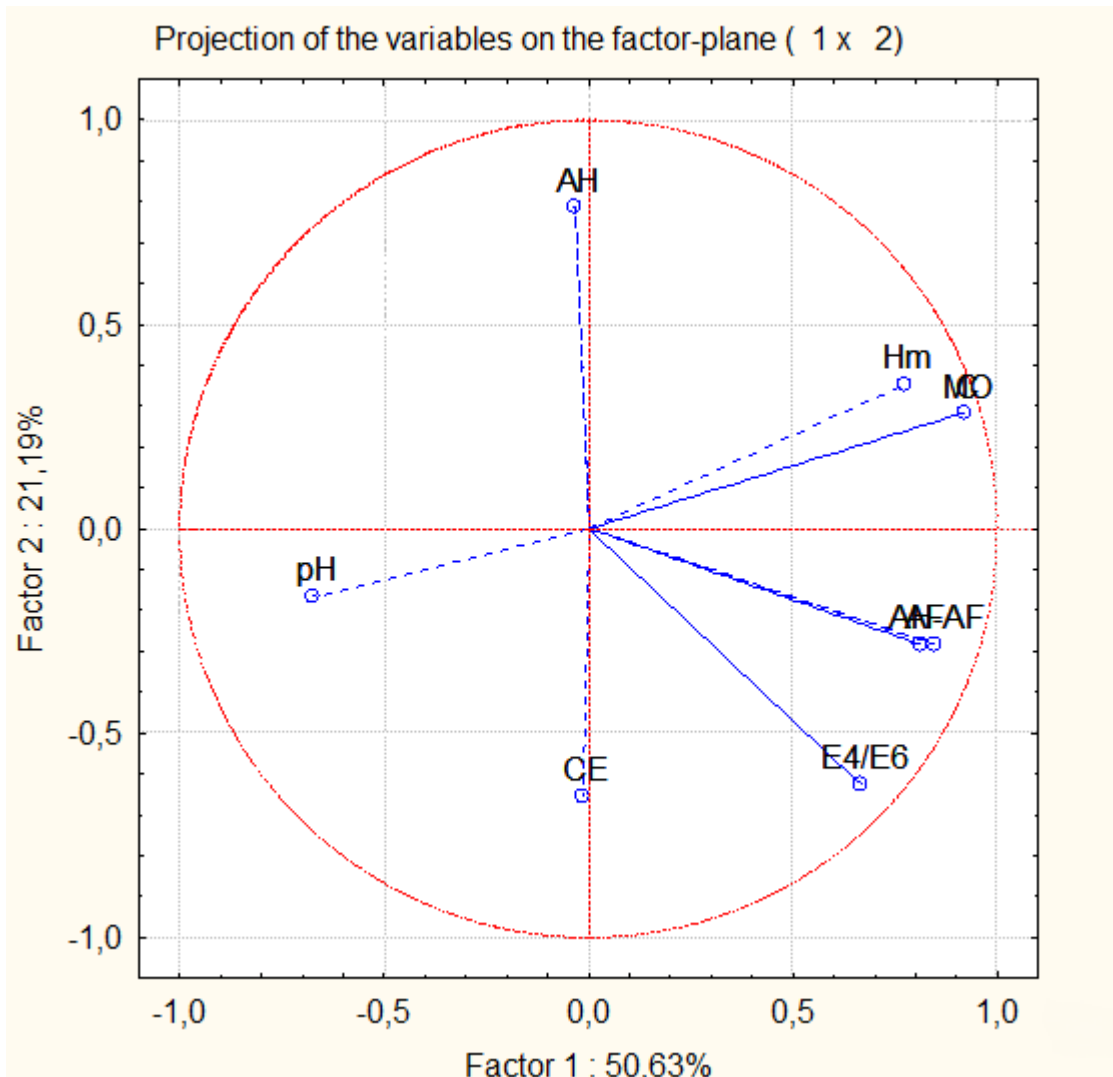


Figura 4.1. Círculo de correlación de factores químicos

En la *figura 4.1.2* se muestra la distribución de los sitios de los dos componentes principales donde se observa que no existe una agrupación por el uso de suelo, así los sitios B16, H7, H8, J8, J9 ubicados en el cuadrante I están caracterizados por una correlación positiva con C, MO y Hm; en los sitios B18, C14, C17, D9, E7, H9 ubicados en el cuadrante II está caracterizado por los AH con una correlación positiva respecto al segundo, los sitios ubicados en el cuadrante III son C8,C9, E10, F7, F11, F16, G6, G11 caracterizados por una correlación negativa con pH y CE, por último los sitios I9, I10 del cuadrante IV se caracterizan por tener poca correlación con AF,AH+AF y E4/E6, B15 presenta en su mayoría valores altos en las variables químicas con respecto a los otros sitios excepto por las variables AH y pH. Estos resultados confirman que los sitios se agrupan según la relación de las variables químicas estudiadas y no existen diferencia entre los dos tipos de uso de suelo (VP y ST) de los suelos de chinampa.

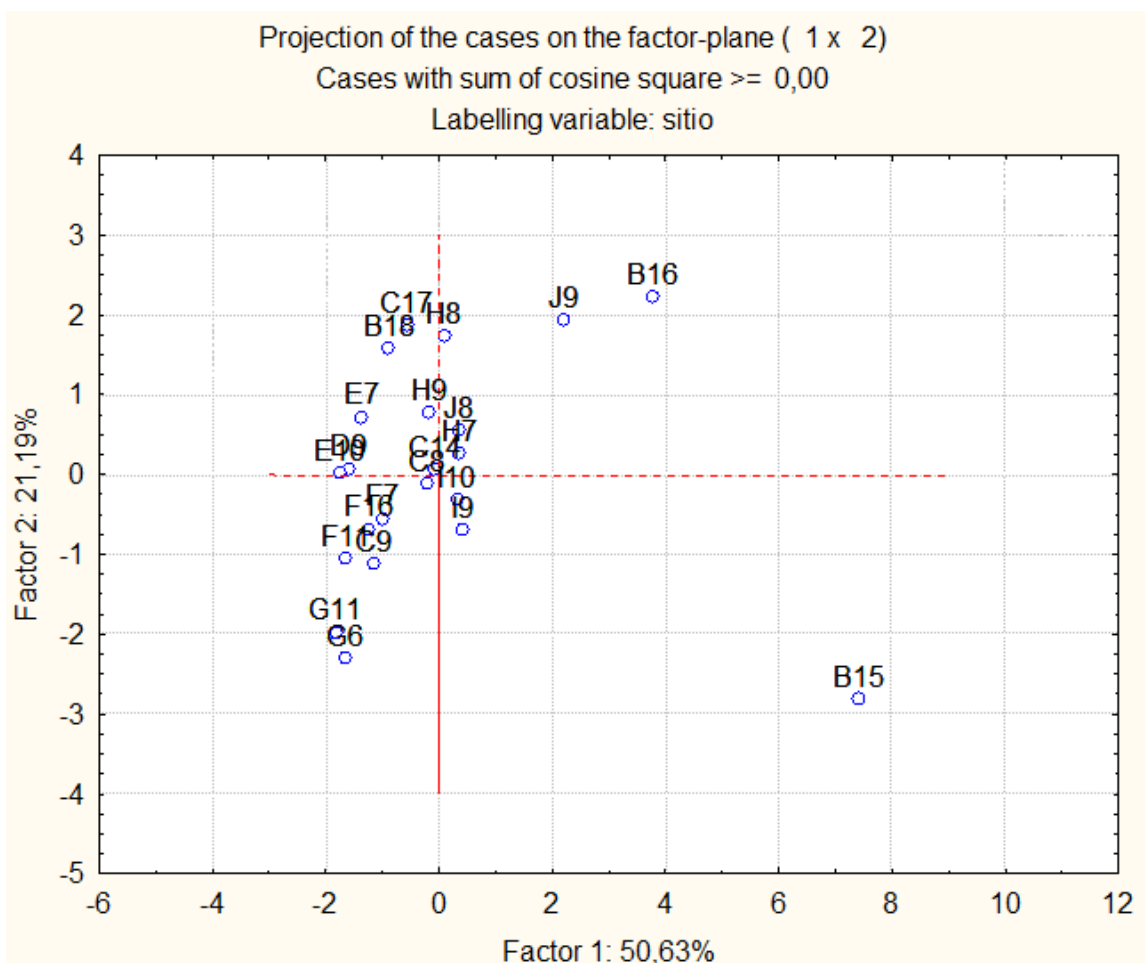


Figura 4.1.2. Representación de los factores sitios.

4.2. Porcentaje de carbono y materia orgánica.

Los porcentajes de carbono presentaron un intervalo entre 3.57% (muestra F11) a 47.93% (muestra B16); en las fracciones del suelo el porcentaje de C AH está entre 0.32% (F11) – 1.90% (C17), en C AF de 0.02% (G6) – 5,43 % (B15), en C AH+AF es 0.65 (G6) – 5,82% (B15) y en huminas es de 1.61 (E10) – 44,79% (B16) (tabla 4.1).

Tabla 4.1. Porcentaje de carbono en las fracciones del suelo del sitio RAMSAR 1363, con diferente uso de suelo.

Muestra S/T	C	AH	AF	AH+AF	Humina	Muestra VP	C	AH	AF	AH+AF	Humina
			%						%		
B15	47,45	0,39	5,43	5,82	41,63	C9	3,96	0,79	0,79	1,58	24,36
B16	47,93	1,42	1,72	3,14	44,79	C17	11,83	1,90	1,26	3,16	11,79

B18	13,19	1,09	0,31	1,40	11,79	H8	25,91	1,16	0,39	1,55	18,66
C8	9,18	1,02	1,32	2,34	6,84	H9	15,34	1,55	2,00	3,55	19,79
C14	14,55	1,35	1,80	3,14	11,41	I9	22,21	0,74	2,81	3,55	2,38
D9	7,62	1,06	0,95	2,02	5,60	I10	22,21	0,68	1,74	2,42	8,67
E7	7,92	1,69	0,82	2,51	5,41	J9	41,77	1,58	1,58	3,15	38,62
E10	4,36	1,38	1,38	2,75	1,61						
F7	8,79	0,97	1,45	2,42	6,37						
F11	3,57	0,32	0,89	1,22	2,35						
F16	7,73	0,37	0,28	0,65	7,08						
G6	4,88	0,63	0,02	0,65	4,23						
G11	5,27	0,55	0,91	1,46	3,81						
H7	22,21	0,84	1,21	2,05	20,16						
J8	20,10	1,08	1,30	2,38	17,72						

Dentro de la fracción húmica, las huminas son el componente más abundante ($\bar{x}=14.32$) de las muestras estudiadas, esto coincide con lo reportado por Duchaufour (1978) puesto que “la humina representa una fracción importante a veces mayoritaria de los compuestos húmicos”, está incluye una amplia gama de compuestos químicos insolubles en medio acuoso y compuestos no húmicos (largas cadenas de hidrocarburos, esterres, ácidos estructuras polares, polisacáridos y glomalina), que pueden ser de origen microbiano, íntimamente asociados a los minerales del suelo (Hayes y Clapp, 2001).

Se observa en el mapa (*figura 4.2*) que la mayor parte de carbono bajo (muestras C8, C9, D9, E7, E10, F7, G6) se encuentra relacionado en la zona de acalotes, apantles y lagunas degradadas de Xochimilco Este; en comparación con los porcentajes altos de carbono (muestras B15, B16) que se relacionan con la zona de acalotes, apantles degradados en proceso de hundimiento. El porcentaje de carbono medio (muestras B18, H7, H8, H9, I9, I10, J8) se concentra en zonas de cultivo.

El contenido de carbono del suelo puede asociarse con la presencia de material orgánico que se deposita constantemente en el piso firme de un área poco profunda de un humedal, lugar donde se construirá la parcela, la incorporación del material orgánico (principalmente material vegetal) se inicia con la fabricación del chinamitl (tejido entre troncos de carrizo) pasando por el relleno con de cintas vegetales (capas de material orgánico por ejemplo puede aprovecharse el lirio acuático mezclado con otras plantas flotantes que abundan en el humedal), hasta la elaboración de suelo agrícola que se realiza extrayendo agua-lodo del fondo del humedad (Aldama, 2004).

La alteración de las condiciones del suelo con las prácticas de labranza puede afectar significativamente la producción de cultivos debido a su influencia sobre la

distribución de la materia orgánica, la actividad microbiana y la dinámica de nutrimentos (Venegas-Sepúlveda, 2008).

Jimenez-Osornio y Gómez-Pompa (1987) mencionan que los suelos de chinampa se caracterizan por tener un elevado contenido de materia orgánica lo que le confiere la coloración oscura y esto sucede en ambos tipos de usos de suelo, se debe al a presencia de las fracciones húmicas debido al empleo de restos orgánicos y lodos provenientes del fondo del lago.

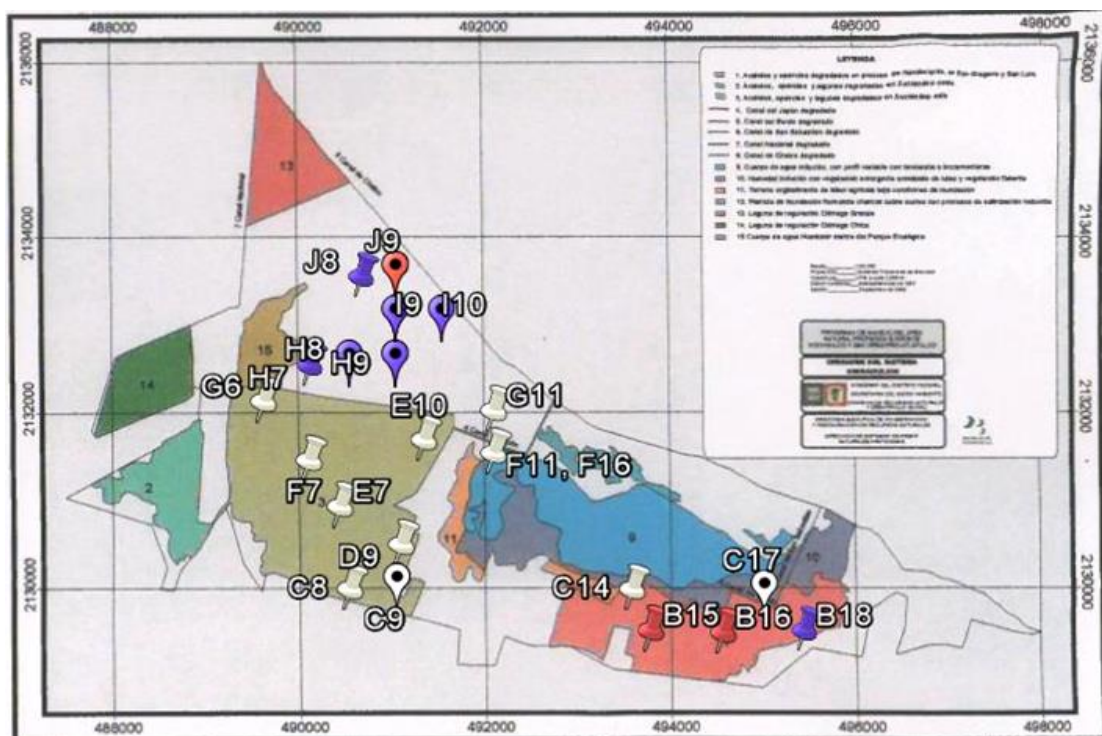


Figura 4.2. Unidades del sistema hidráulico de la zona RAMSAR 1363 con respecto al porcentaje de carbono. Las marcas de color blanco son porcentajes de carbono bajo, las marcas de color morado porcentajes de carbono medio y las marcas de color rojo porcentajes de carbono alto.

El porcentaje de materia orgánica (MO), presento una variación desde valores alto a bajos (62.21% (muestra B18) - 4.63% (muestra F11)) (tabla 4.2) estos fueron interpretados con base a la NOM-021-SEMARNAT-2000 para suelos volcánicos, Padilla (2012) reporta que cuando el contenido de materia orgánica es de medio a alto, se tiene una mejor retención de agua en el suelo debido a su mejor estructura, esto indica que la mineralización es adecuada lo que sucede en la mayoría de las muestras excepto en E10, F11, C9; aunque Fuentes (1999) explica que no es el contenido de la

materia orgánica lo que más interesa, sino la velocidad con que esta evoluciona y el equilibrio entre los procesos de mineralización y humificación.

La mineralización de la materia orgánica es un factor de suma importancia en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, ya que a través de este proceso se reciclan nutrimentos como nitrógeno, fósforo y azufre, en este proceso influyen el clima, la mineralogía de las arcillas, el contenido de los nutrientes del suelo, la actividad de la biota edáfica y la calidad de los recursos de descomposición.

En los suelos de chinampa es probable que disminuya la mineralización tanto por el manejo y perturbación, como por el exceso de humedad proporcionado por el agua del lago (Reyes-Ortigoza y García-Calderón, 2004).

Tabla 4.2. Contenido de materia orgánica en suelos del sitio RAMSAR 1363.

Muestra S/T	% MO	Interpretación	Muestra VP	% MO	Interpretación
B15	61,59	Muy alto	C9	5,14	Bajo
B16	62,21	Muy alto	C17	15,36	Alto
B18	17,12	Muy alto	H8	33,63	Muy alto
C8	11,92	Alto	H9	19,91	Muy alto
C14	18,89	Muy alto	I9	28,83	Muy alto
D9	9,89	Medio	I10	28,83	Muy alto
E7	10,28	Medio	J9	54,22	Muy alto
E10	5,66	Bajo			
F7	11,41	Alto			
F11	4,63	Bajo			
F16	10,03	Medio			
G6	6,33	Medio			
G11	6,84	Medio			
H7	28,83	Muy alto			
J8	26,09	Muy alto			

4.3. Densidades ópticas e índices de humificación.

En la siguiente gráfica (*figura 4.3*) se observan los espectros de absorción UV-Visible de las muestras de los AH de los suelos sin trabajar y con vegetación de pastizal que absorben en todo el rango del espectro UV debido a la variedad de grupos funcionales que poseen, y los AH disminuyen la absorbancia con el aumento de longitud de onda (Domeizel, Khalil *et al.* 2004).

Los espectros UV-visible proporcionan información con base en el grado de inclinación, las pendientes mayores implican mayor complejidad en la estructura molecular de los AH. Es decir, el orden observado en el espectro UV-Visible (*figura 4.3*)

se asocia con el incremento en la condensación molecular y a la aromaticidad, las cuales son proporcionales al grado de humificación y la maduración de las sustancias húmicas, las muestras con pendiente mayor son B15, I9, I10 poseen mayor grado de humificación en tanto las muestras con menor grado de humificación son B16, B18 y C14, C17 y H9.

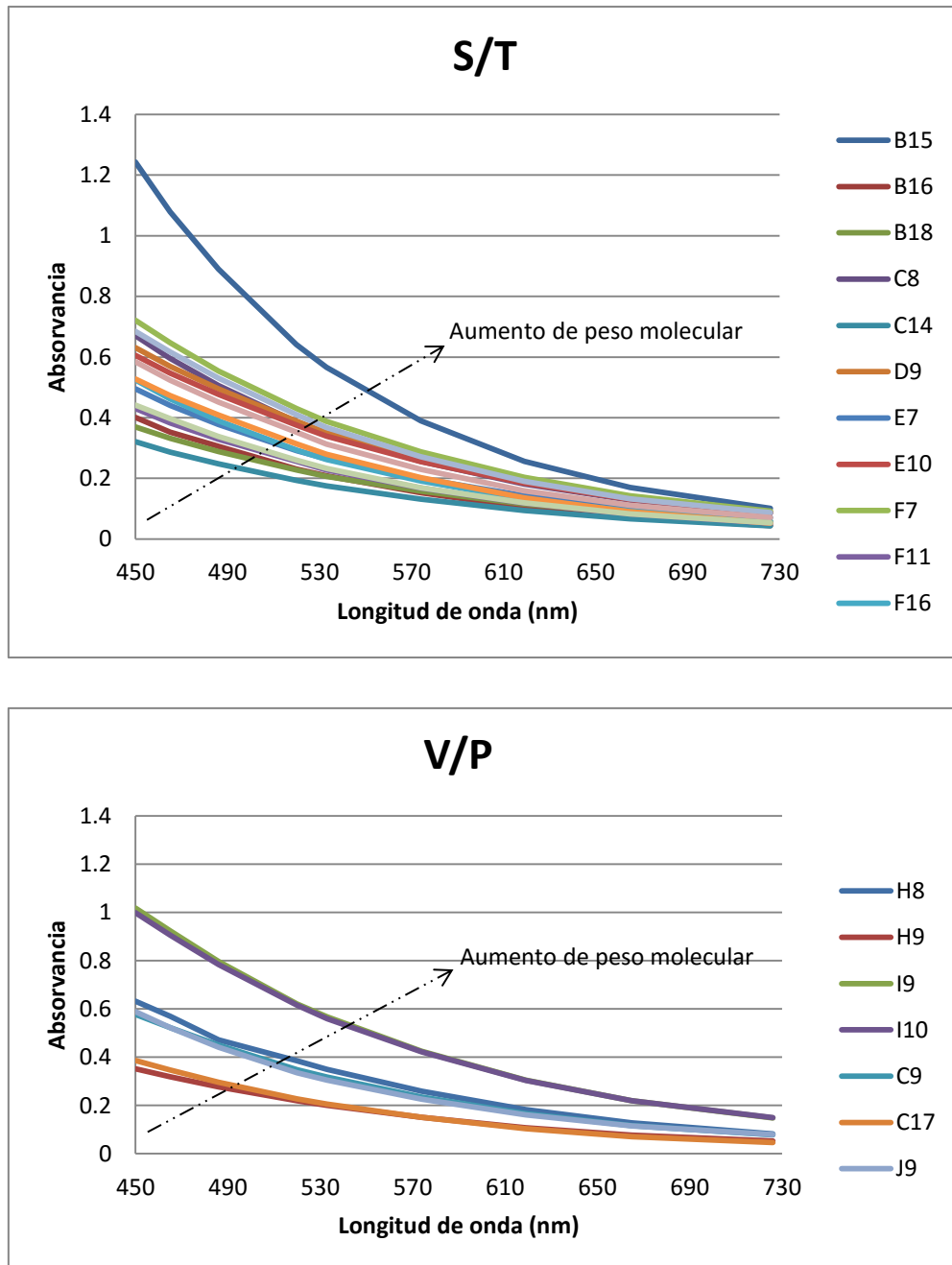


Figura 4.3. Espectro UV-visible de uso de suelo sin trabajar y con vegetación de pastizal.

En tanto los valores de la relación 465 y 665 nm (E4/E6) conocida como índice de aromaticidad, complementan la información química de las SH. Esta relación suele ser

menor en los AH (usualmente es menor de 5.0), mientras más bajos sean los valores indican mayor grado de condensación, mayor peso molecular y abundancia de grupos aromáticos frente a los alifáticos. Una proporción alta puede inferir la presencia de estructuras más alifáticas (Belzile et al., 1997).

El valor alto de la relación E4/E6 (*tabla 4.3*) en las muestras B15, F16 y G6 corresponde a moléculas húmicas con alto grado de agregación, es decir la presencia de moléculas orgánicas de pequeño tamaño, de cadena alifáticas y generalmente con un alto contenido de grupos funcionales; mientras que bajos valores de E4/E6 (*tabla 4.3*) presentaron una mayor condensación de anillos aromáticos, alto peso molecular, es decir, un mayor grado de humificación (Chen, Senesi *et al* 1977).

Existe también una relación inversa entre este cociente y el tiempo medio de resiliencia en el suelo, por lo que cuando más alto sea el valor de la relación E4/E6, (muestras B15, F16 y G6) menores tiempos de residencia de los AH en el sistema y menor grado de condensación, es decir, son suelos más jóvenes (Stevenson, 1982) lo cual indica que las sustancias mas humificadas y con mayor carácter aromático corresponden a las de origen más antiguo en el ecosistema edáfico.

El índice de humificación CAH/CAF (*tabla 4.3*) es un parámetro que estima la calidad de los materiales orgánicos, indica la cantidad de carbono humificado en relación al carbono no humificado, esta relación puede ser de 1 a 2, para horizontes superficiales ricos en MO en donde predominan los AH, estos son considerados un marcador natural del proceso de humificación (Julca-Otiniano, Meneses-Florian *et al* 2006).

Las muestras de uso de suelo B15, B16, C8, C14, E10, F7, F11, G11, H7, J8, C9, H9, I9, I10 revelan restricciones edáficas relacionadas a la actividad biológica, lo cual sugiere que la MO tiene poca evolución en estos suelos debido a procesos edáficos y al tipo de agricultura que se practica en cada lugar; Kononova (1982) menciona que el humus con baja relación (CAH/CAF) es restringida por la actividad de la biota es de baja calidad.

Tabla 4.3. Densidad óptica e índice de humificación del sitio RAMSAR 1363.

<i>Muestra S/T</i>	<i>E4/E6</i>	<i>CAH</i>	<i>CAF</i>	<i>CAH/CAF</i>	<i>Muestra VP</i>	<i>E4/E6</i>	<i>CAH</i>	<i>CAF</i>	<i>CAH/CAF</i>
B15	6,35	0,39	5,43	0,07	C9	4,45	0,79	0,79	1,00
B16	4,89	1,42	1,72	0,83	C17	4,14	1,90	1,26	1,51
B18	3,86	1,09	0,31	3,52	H8	4,20	1,16	0,39	2,97
C8	4,61	1,02	1,32	0,77	H9	4,12	1,55	2,00	0,77
C14	4,28	1,35	1,80	0,75	I9	4,51	0,74	2,81	0,26
D9	4,21	1,06	0,95	1,12	I10	4,89	0,68	1,74	0,39
E7	4,24	1,69	0,82	2,06	J9	4,55	1,58	1,58	1,00
E10	4,18	1,38	1,38	1,00	$\bar{x} =$		1,20	1,51	1,13

F7	4,52	0,97	1,45	0,67
F11	4,61	0,32	0,89	0,36
F16	5,02	0,37	0,28	1,32
G6	5,26	0,63	0,20	3,15
G11	4,64	0,55	0,91	0,60
H7	4,72	0,84	1,21	0,69
J8	4,78	1,08	1,30	0,83
\bar{x} =		0,94	1,32	1,06

4.4. Humificación.

La humificación es el proceso de transformación de la materia orgánica del suelo en humus, consta de diversas fases en las que las moléculas generadoras del humus experimentan determinadas reacciones químicas a lo largo de un proceso de gran complejidad. En primer lugar, los restos vegetales se transforman y pierden sustancias orgánicas y algunos elementos minerales como el potasio y el sodio, a continuación la hojarasca, los tallos y otros restos se acumulan y se desintegran de forma mecánica por la acción de los animales. Posteriormente, tienen lugar otras alteraciones químicas, por las que los restos orgánicos pierden su estructura celular y se alteran a un material amorfo que adquiere un color negro, poco a poco, estos restos se descomponen y se fusionan totalmente con la fracción mineral del suelo para formar el humus (Venegas-Sepúlveda, 2008).

Las variables que demostraron una concordancia con el proceso de humificación-mineralización son los AH usualmente presentan valores menor de 5,0 refiriendo que se lleva a cabo la humificación, valores bajos de E4/E6 presentan un mayor grado de humificación, las mayores pendientes en el espectro UV-Visible se asocian con el proceso de humificación, la relación CAH/CAF menor o igual a 1 es considerado un marcador del proceso de humificación (Domeizel, Khalil *et al.* 2004; Chen, Senesi *et al.* 1977; Fong y Mohamed, 2007; Julca-Otiniano, Meneses-Florian *et al.* 2006).

Tomando en cuentas las variables anteriores (AH, E4/E6, UV, CAH/CAF) se observó que, la mayoría de las muestras estudiadas presentan humificación (muestras B16, C8, C14, D9, E7, E10, F7, G11, H7, H8, H9, J8), solo tres muestras de las sustancias húmicas presentan mineralización (muestras C9, F16, G6) y siete muestras presentaron un proceso de mineralización-humificación (muestras B15, B18, F11, C17, I9, I10, J9) (figura 4.4).

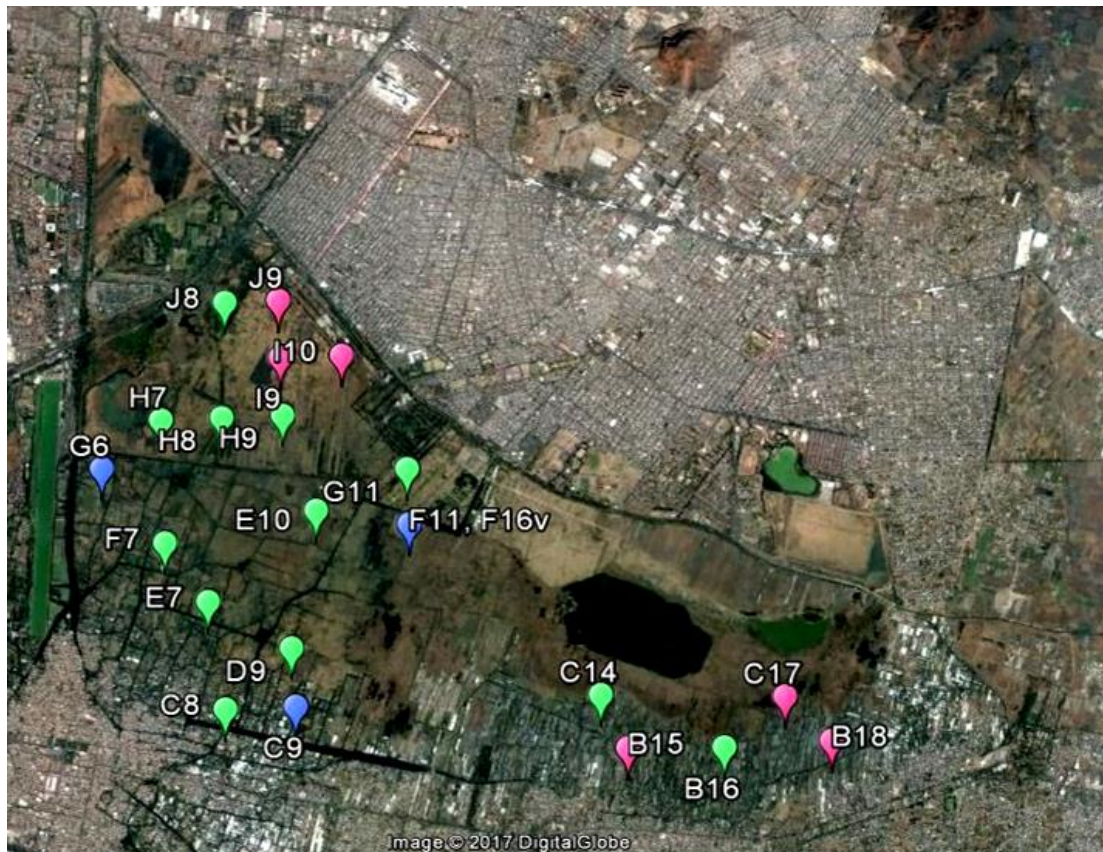


Figura 4.4. Procesos de evolución de las sustancias húmicas de las muestras de suelos del sitio RAMSAR 1363. Las marcas de color verde= muestra con proceso de humificación, azul= muestra con proceso de mineralización, rosa= muestras que presentan un equilibrio entre mineralización-humificación; con base a los valores de AH, CAH/CAF, E4/E6 y UV.

4.5. Salinidad.

Basado en la conductividad eléctrica y el pH se logro determinar la salinidad (Aguilera, 1989), los resultados de esta determinación se encuentran en la *tabla 4.4*, en donde se observa que la mayoría de las muestras de suelo de chinampa presentan acumulación de sales (suelos salinos), solo las muestras B18, F16, J8, C17, H8, I10 no presentan acumulación de sales (suelos normales).

Las muestras de CE van desde 1.43 dSm^{-1} (F16) hasta 17.30 dSm^{-1} (G6), tres muestras C9, G6 y G11 presentaron un alto contenido en sales que se considera severo ($\text{CE} > 15 \text{ dSm}^{-1}$) de acuerdo con US Salinity Laboratory Staff (1954).

El origen de la acumulación de las sales se ha asociado al manejo antrópico proceso existente en agroecosistema de chinampa, por el mal manejo del riego y la acumulación de la humedad, por drenaje deficiente con características hidromórficas, como afirman estudios de áreas cercanas de Xochimilco, Mixquic, San Luis Tlaxialtemalco y Tláhuac (Fuentes-Romero, 2001).

Tabla 4.4. Clasificación del suelo basado en CE y pH del sitio RAMSAR 1363.

Muestra	CE dS m-1	pH	Clasificación del suelo
B15	12,16	5,8	Salino
B16	4,53	6,2	Salino
B18	1,93	6,5	Normal
C8	6,99	6,2	Salino
C14	11,88	7,1	Salino
D9	6,24	8,0	Salino
E7	8,09	7,6	Salino
E10	7,79	8,1	Salino
F7	8,26	7,8	Salino
F11	4,13	7,6	Salino
F16	1,43	7,5	Normal
G6	17,2	7,9	Salino
G11	15,14	8,4	Salino
H7	4,7	7,6	Salino
J8	3,19	7,4	Normal
C9	16,38	7,8	Salino
C17	2,12	7,2	Normal
H8	2,13	7,1	Normal
H9	8,42	8	Salino
I9	6,8	7,7	Salino
I10	3,1	7,7	Normal
J9	6,75	7,8	Salino

Basado en Aguilera, 1989.

4.7. Recomendaciones.

Disminuir el uso de fertilizantes, lodos residuales y uso extensivo de estiércoles, que incrementan los niveles de sales en los suelos.

Mejorar la calidad del agua de riego con tratamiento terciario a las aguas residuales antes de ser liberada en los canales.

Reducir la evaporación de las aguas superficiales mediante el mejoramiento de la estructura granular del suelo, establecimiento de árboles a lo largo de los canales.

Conclusiones.

En función de la hipótesis y de los objetivos planteados, se logro llegar a las siguientes conclusiones:

El ACP, los factores C y MO tienen el más alto coeficiente de correlación (0.918), el factor pH (-0.115) por tener un coeficiente de correlación cercano a cero no es representativo. Los sitios se agrupan según la relación de las variables químicas estudiadas y no existen diferencia entre los dos tipos de uso de suelo

Los contenidos de C AH está entre 0.32% (F11) – 1.90% (C17), en C AF de 0.02% (G6) – 5.43 % (B15), en C AH+AF es 0.65 (G6) – 5.82% (B15); en las sustancias húmicas, las huminas fueron la fracción más abundante del suelo (\bar{x} = 14.32%).

El porcentaje MO presento una variación desde valores de alto a bajos (66.21% - 4.63%), indicando una mineralización adecuada aunque es probable que disminuya por el manejo y perturbación de las chinampas así como por el exceso de humedad.

Los espectros UV-visible, las muestras B15, I9, I10 poseen mayor grado de humificación, en tanto las muestras con menor grado de humificación son B16, B18 C14, C17 y H9.

La relación E4/E6, determino que las muestras B15, F16 y G6 son suelos más jóvenes, mientras que las muestras B16,B18,C8, C14, D9, E7, E10, F7, F11, G11, H7, J8, C9, C17, H8, H9, I9, I10, J9 presentan un mayor grado de humificación y es de origen antiguo en el sistema

El índice de humificación CAH/CAF revelo que las muestras de uso de suelo B15, B16, C8, C14, E10, F7, F11, G11, H7, J8, C9, H9, I9, I10 presentan restricciones edáficas relacionadas a la actividad biológica, lo cual sugiere que la MO tiene poca evolución en estos suelos.

Basado en la conductividad eléctrica y el pH se determino la salinidad, las muestras B18, F16, J8, C17, H8, I10 no presentan acumulación de sales (suelos normales).

Tomando en cuentas las variables AH, E4/E6, UV-Visible, CAH/CAF, se observó que, que las muestras B16, C8, C14, D9, E7, E10, F7, G11, H7, H8, H9, J8 presentan un proceso de humificación, las muestras C9, F16, G6 presentan mineralización y las muestras B15, B18, F11, C17, I9, I10, J9 poseen un proceso de mineralización-humificación.

En los suelos del sitio RAMSAR 1363 “Ejido de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” la evolución de las sustancias húmicas tiene que ver con las condiciones topográficas, ambientales, geográficas y las características históricas.

Literatura citada.

- Aguilera Herrera, N. (1989) Tratado de Edafología de México. Tomo I. Facultad de Ciencias. UNAM. México pp. 88-95.
- Aldama A. (2004) Manual de Construcción de Chinampas. Colección Manuales. Jiutepec, Morelos IMTA. 40 pp.
- Almendros, G. (2000) Procesos de transformación de la materia orgánica en ecosistemas agrícolas e inalterados. En: La edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo 1. R. R. Quintero, T. Reyna, L. Corlay, A. Ibáñez, N.E. García (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Alvarez-Gomez L. y Valencia-Mendoza L. (2001) Cambios del uso de suelo en la zona chinampera de Xochimilco, D.F. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México 97 pp.
- Aranda, S.M. (2004) Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Zona Lacustre "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco". Secretaría de Medio Ambiente, México. 13 pp.
- Belzille, N., Joly A. H. & Li H. (1997) Characterization of humic substances extracted from Canadian lake sediments. Canadian Journal of Chemistry. 75(1): 14-27.
- Bendeck, L. M. (1996) Origen, formación y composición del humus. En: Memorias Seminario-Taller: Origen, formación y composición del humus. COLJAP. Manizales, Colombia.
- Blasco L. M. (1970) Microbiología del suelo. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 78 pp.
- Bonh H. L, McNeal B. L., O'Connor G. A. (1993) Química del suelo. Ed. Limusa. México pp. 151-171.
- Brady N.C. y Weil R.R. (1999) The nature and properties of soil. 9a ed. Prentice-Hall, EUA, 881 pp.
- Chávez, M.A. (2000) Características físicas y químicas de algunas calicatas de San Nicolás Toledo en la delegación Tláhuac y Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM 69 pp.
- Chen Y., Senesi N., Schnitzer M. (1977) Information provided on humic substances by E4/E6 ration. Soil CSI Amer. J. pp. 41,52.

- D.O.F. (1986) DECRETO por el que se declara una zona de monumentos históricos en las Delegaciones de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, D.F. Diario Oficial de la Federación. 04 de Diciembre de 1986.
- David G. P. (2008) Extracción, caracterización de sustancias húmicas y su empleo en procesos fotoquímicos de interés ambiental. Tesis grado. Doctor en Ciencias Exactas. Facultad de Ciencia Exactas. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 182 pp.
- De la Rosa J.B. (2006) La contaminación del Lago de Xochimilco por aguas negras y su influencia en la agricultura local. Tesis de Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM 71 pp.
- Domeizel, M., Khalil, A., Prudent, P. UV spectroscopy: a tool for monitoring humification and proposing an index of the maturity of compost. *Biores. Technol* 94 (2004) 177-184.
- Duchaufour P. (1978) Manual de Edafología. Masson S.A. Paris. 476 pp.
- FAO (2014) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Organic matter. Consultado en línea el día 13 de julio de 2014 en:
http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf
- Fernández-Zabala M. (2003) Evaluación agronómica de sustancias húmicas derivadas de humus de lombriz. Tesis de Licenciatura Ingeniería forestal. Facultad de Agronomía e ingeniería forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 52 pp.
- Fong, S.S; Mohamed, M. (2007) Chemical characterization of humic substances occurring in the peats of Sarawak, Malasia. *Organic Geochemistry*: 38:967-976.
- Fuentes Y. J. L. (1999) El suelo y los fertilizantes. 5a. Edición. Ministro de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 pp.
- Fuentes-Romero E. (2001) Estudio comparativo de suelos de chinampa contaminados por sales y/o sodio en Xochimilco, Mixquic y Tláhuac. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. 86 pp.
- García, E. (1988) Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Kôeppen. Serie Libros, Núm 6, Instituto de Geografía, UNAM. México.
- García-Calderón, E., Galicia, S., Reyes, L. y Aguilera, N. (1994) Organic matter and humic substances contents in chinampa soils from Xochimilco-Tlahuac areas. *Transactions of the 15th World Congress Soil Science* 3a: 368-383.

- González-Pozo A. (2008) Sufre zona chinampera de la ciudad de México condiciones críticas de deterioro, advierten en seminario organizado por la UAM. Boletín No. 257. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- González-Pozo A. (2010) Las chinampas de Xochimilco al despuntar el Siglo XXI: Inicios de su catalogación. México D.F. UAM. 279 pp.
- Guerrero A. (1996) El suelo, los abonos y la fertilidad de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao. España. 206 pp.
- Hayes H.B. y Clapp C.E. (2001) Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental. *Soil Science*. 166: 723-737.
- Hernández-Jiménez M. y Sandoval-Lejis M. (2001) El deterioro ecológico, la urbanización y sus efectos en la zona chinampera de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Planificación para el desarrollo agropecuario. UNAM, Campus Aragón. México 168 pp.
- INECOL. (2002) Informe Final. Programa Rector de Restauración Ecológica Área Natural Protegida Zona sujeta a Conservación Ecológica Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. México. 79pp.
- INEGI. (2008) Cuaderno Estadístico Delegacional Xochimilco. México.
- Izquierdo M., Antelo J., Fio S. et al (2004) Caracterización de ácidos fúlvicos y ácidos húmicos extraídos de una turbera minerotrófica. *Edafología*. Vol. 11(3) pp.329-339.
- Jiménez-Moreno M. (2013) Resiliencia y Adaptación del Sistema Chinampero Xochimilco. Tesis de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 166 pp.
- Jiménez-Osornio J. y Gómez-Pompa A. (1990) Las chinampas mexicanas. *Pensamiento Iberoamericano*. Revista de economía política. 12:214:
- Julca-Otiniano A., Meneses-Florián L., Blas-Sevillano R., Bello-Amez S. (2006) La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *IDESIA*. Chile 24(1) 49.71.
- Kononova M. M. (1982) *Materia orgánica del suelo: Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Barcelona. Oikos-Tou 365 pp.
- Krasilnikov, P., García-Calderón, N.E. y Ramos-Bello, R, (2011) Artificial chinampas soils of México city: Their properties and salinization hazards. *Spanish Journal of Soils Science* 1(1) 70-85.

- López-Ríos G. F. (1988) Sistema Agrícola de Chinampas: Perspectiva Agroecológica. Cuadernos universitarios: Serie Agronomía No. 15. Universidad Autónoma de Chapingo. México. Pp. 15, 16, 33.
- MacCarthy P. (2001) The principles of humic substances. Soil. Science. 166: 738-751.
- Martínez-Ruiz J. (2004) Manual de construcción de Chinampas. Colección Manuales. Jiutepec, Morelos. 40 pp.
- Melo-López L. (2006) Análisis y caracterización de ácidos fúlvicos y su interacción con algunos metales pesados. Tesis de Licenciatura en Química. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo. 102 pp.
- Merlín-Uribe, Y. (2009) Evaluación de dos sistemas de manejo de recursos naturales de Xochimilco con indicadores de sustentabilidad. Tesis de Grado Maestría en Ciencias, Instituto de Ecología A. C. México 214 pp.
- Merlo Galeazzi, Á. (2010) Variación espacial de la firma isotópica de quiromidos, MOP y sedimentos en los canales de Xochimilco, México: Implicación en la red trófica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Norma Oficial Mexicana 021 Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales-2000, Que establece la especialidad de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis 85 pp.
- Padilla G. W. (2012) Clínica Agrícola. En: Cambio del uso de suelo y su efecto en el contenido químico de MO, C/N y C/P en el ejido "El conejo", Perote, Veracruz. Tesis de grado. Licenciatura Ingeniero Agronomo. Facultad de Ciencias. Universidad veracruzana. México. 43 pp.
- Piccolo A. (2001) The supramolecular structure of humic substances. Soil Science. 166:810-832.
- Ramos-Bello, R., Cajuste, L. J., Flores-Román, DE., García- Calderón, N.E. (2001) Metales pesados, sales y sodio en los suelos de chinampa de México. Colegio de Postgraduados. Agrocencias, 35(4), 385-395.
- Reyes-Ortigoza A. L. García-Calderón, N. E. (2004) Evolución de las fracciones húmicas de los suelos en la zona chinampera de la Ciudad de México. TERRA latinoamericana, 22(3), 289-298.
- Rodríguez-Torres M.D. (2008) Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de sustancias húmicas y su efecto sobre el crecimiento del trigo. Tesis de grado. Maestría en Ciencias. Centro Interdisciplinario de Investigación para el

- Desarrollo Integral Regional CIIDIR-Michoacán. Instituto Politécnico Nacional. Michoacán, México 81pp.
- Rojas-Rábiela T. (1993) La agricultura Chinampera. Compilación histórica. 2a Edición. Chapingo, México pp. 45, 46, 133, 157, 258.
- Rzedowski, G.C.; Rzedowski, J. y colaboradores (2001) Flora fanerogamica del Valle de México 2º Ed. Instituto de Ecología A.C. y Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Patzcuaro (Michoacán) 1460 pp.
- Sales D. B. (2006) Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono. Tesis de grado. Doctor en Ciencias Químicas. Universidad de Sevilla. Sevilla. 162 pp.
- Serra M. C. (1988) Los recursos lacustres de la cuenca de México durante el formativo. UNAM, México D.F. 270 pp.
- Stevenson F. J. (1982) Humus chemistry. Wiley. New York. USA. 443 pp.
- Stevenson F. J. (1994) Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. SeconEdition. Jonh Wiley y Sons. Inc. 512 pp.
- Thompson L. M., Troeh F. R., (2002) Los suelos y su fertilidad. 4ªEd. Reverte. España pp. 308-313.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2005) Proyecto Para la Identificación Participativa De un Plan de Rehabilitación Integral del Patrimonio Cultural de Xochimilco. Proyecto UNESCO-Xochimilco Ref., 219/MEX/3001. México 49 pp.
- Urzúa H. (1978) Materia orgánica y sustancias húmicas del suelo. Publicación XIX. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. Chile 77 pp.
- US Salinity Laboratory Staff 1954: Determination of the properties of saline and alkali soils. Chapter 2. Diagnosis and improvement of saline and alkali.
- Venegas-Sepúlveda A. (2008) Caracterización de la materia orgánica de suelos de praderas naturales y cultivadas de la IX Región. Tesis de Licenciatura en Química. Facultad Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. 58 pp.