

00377



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE GEOLOGIA

“HABILITACION DE UN TEPETATE POR EFECTO DE  
MEJORADORES BIOLÓGICOS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGIA AMBIENTAL CON ORIENTACION  
EN RESTAURACION ECOLOGICA)

P R E S E N T A  
ALEIDA GARCIA CRUZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID FLORES ROMAN



MEXICO, D. F.

MARZO 2005

m341542



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.



## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 22 de noviembre del 2004, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental con orientación en Restauración Ecológica) del(a) alumno(a) **García Cruz Aleida** con número de cuenta **97536660**, con la tesis titulada: "**Habilitación de un tepetate por efecto de mejoradores biológicos**", bajo la dirección del(a) **Dr. David Flores Román**.

Presidente:	Dr. Julio Campo Alves
Vocal:	Dr. Ronald Ferrera Cerrato
Secretario:	Dr. David Flores Román
Suplente:	Dr. Fernando de León González
Suplente:	Dra. Norma E. García Calderón

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a, 23 de febrero del 2005

Dr. Juan José Morrone Lupi  
Coordinador del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ciencias y al Instituto de Geología por permitirme realizar los estudios de posgrado y brindarme las facilidades para realizar esta tesis.

Al Dr. David Flores Román por haber dirigido este trabajo. Especialmente por su tiempo, experiencia y conocimiento transmitido durante estos años y por la confianza depositada en mi.

A los miembros del jurado Dr. Julio Campo Alves, Dr. David Flores Román, Dr. Ronald Ferrera Cerrato, Dra. Norma E. García Calderón y Dr. Fernando de León González por la revisión crítica de este escrito y sus comentarios acertados sobre la investigación .

A la Dra. Norma E. García Calderón y Dr. Ronald Ferrera Cerrato por permitirme realizar parte de esta investigación dentro de sus instalaciones y sus comentarios a lo largo de la realización de este proyecto.

Al CONACYT por la beca otorgada para realizar la maestría y a la DGAPA-PAPIIT(código: IN204302-2) por el apoyo económico otorgado para realizar el proyecto de investigación.

A la CORENADER y en especial al vivero Yacapixtla por la donación de las plantas de higuera para la realización del proyecto.

A la Dra. Alma Velázquez Rodríguez por su apoyo y consejos durante el desarrollo de la maestría y especialmente por brindarme su amistad.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Fertilidad de Suelos Tania Izquierdo Castro, Areli Plancarte Salas, Gilberto Vela Correa, Humberto Núñez Cardona, Carla Muñiz Irigoyen, Judith Estrada Brena y Yoatzin Reygadas Langarica por su apoyo y amistad.

Al personal del área de computo en especial Rosario Flores Ramos y Francisco Montaña Cuahuilaz por su apoyo técnico durante la realización de este trabajo

A mis amigas Ivonne, Tere y Gaby por apoyarme y estar siempre conmigo.

**Mi gratitud y reconocimiento a todas aquellas personas e instituciones que me apoyaron durante la realización de este trabajo**

## *A mis padres y hermana*

*Por estar siempre junto a mi brindándome todo su apoyo, comprensión y paciencia,  
Por lo que este logro no es solo mío sino también de ustedes, ya que me han alentado y  
ayudado a realizar todas mis metas.*

**INDICE**

Resumen	i
Abstract	iii
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. Hipótesis	2
4. Antecedentes	3
4.1 Tepetates	3
4.1.1 Definición	3
4.1.2 Distribución	5
4.1.3 Importancia	5
4.1.4 Habilitación	7
4.2 Estructura	9
4.2.1 Definición	9
4.2.2 Agregación	10
4.2.3 Estabilidad	14
4.3 Materia orgánica	16
4.3.1 Definición	16
4.3.2 Estiércol	18
4.3.3 Composta	19
4.3.4 Vermicomposta	20
4.3.5 Importancia	21
4.4 Micorrizas	23
4.4.1 Definición	23
4.4.2 Tipos	23
4.4.3 Importancia	24
4.5 Higuera ( <i>Ficus carica</i> L.)	25
4.5.1 Características	25
4.5.2 Importancia	26
5. Materiales y métodos	27
5.1 Características de la zona de muestreo del tepetate	27

---

5.2	Diseño experimental	31
5.3	Establecimiento del experimento	32
5.3.1	Características físicas	35
5.3.2	Características químicas	36
5.3.3	Características bioquímicas	37
6.	Resultados y discusión	39
6.1	Características físicas	39
6.1.1	Formación de agregados	39
6.1.2	Estabilidad	47
6.2	Características químicas	54
6.2.1	pH en agua	54
6.2.2	Materia orgánica	57
6.2.3	Capacidad de intercambio catiónico	60
6.2.4	Bases intercambiables	63
6.3	Características bioquímicas	70
6.3.1	Carbono orgánico	70
6.3.2	Sustancias húmicas	72
6.3.3	Polisacáridos	76
6.4	Características de la planta	79
6.4.1	Crecimiento en Altura	79
6.4.2	Crecimiento en Diámetro	80
6.4.3	Número de hojas	81
6.4.4	Área foliar	82
6.4.5	Biomasa aérea	83
6.4.6	Biomasa subterránea	85
6.4.7	Biomasa total	86
7.	Conclusiones	90
8	Discusión general	91
9.	Literatura citada	94
10.	Apéndice	

## Resumen

El tepetate es una capa endurecida de origen volcánico, que se encuentra a poca profundidad en el perfil de algunos suelos. Una vez que aflora, representa una problemática para el desarrollo de especies vegetales por su alto grado de dureza, bajo contenido de materia orgánica y estructura masiva, provocando que el desarrollo de las plantas sea limitado. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de enmiendas orgánicas, una especie vegetal y micorriza sobre las características físicas, químicas y bioquímicas de un tepetate, para mejorar su calidad productiva.

El experimento se realizó con tepetate del municipio de Tetela del Volcán, Morelos, en el invernadero del Instituto de Geología, UNAM. El diseño fue trifactorial, teniendo como factores la planta (*Ficus carica* L) con y sin inóculo, diferentes enmiendas (estiércol de bovino, composta y vermicomposta) y el tiempo (6 y 12 meses), se colocaron 4 repeticiones por tratamiento. El material fue roturado en fragmentos de entre 2 y 10mm, para posteriormente ser colocado en macetas sin perforaciones, adicionándose las enmiendas según los tratamientos. Las plantas se trasplantaron e inocularon. El experimento se efectuó durante 6 y 12 meses; la planta fue cortada y el material secado, para después realizar los análisis de laboratorio.

En los análisis físicos de agregación y estabilidad se observó un dominio de la fracción de mayor tamaño (>5mm) y un incremento en la fracción pequeña (<1mm), lo que indica procesos tanto de disgregación, como de agregación del material. El que la estabilidad sea menor en las diferentes fracciones, muestra indirectamente la formación de agregados, debido a que éstos son menos estables que los fragmentos del tepetate, que por su cementación presentan una mayor estabilidad.

En cuanto a los análisis químicos (pH, M.O., CIC, Ca, Mg, Na y K), se presentaron valores favorables de pH, cercanos a la neutralidad y el porcentaje de materia orgánica se incrementó. La capacidad de intercambio catiónico mostró valores considerados altos en todos los tratamientos, al igual que las bases intercambiables.

Los análisis de las propiedades bioquímicas (MOL, Carbono, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas) señalaron una mayor proporción en los tratamientos con enmiendas orgánicas. El carbono presentó mayores porcentajes en los tratamientos con inóculo y por la presencia de composta. Se observó mayor cantidad de ácidos fúlvicos que de ácidos húmicos, presentando los porcentajes más altos, los tratamientos con inóculo y composta. Las huminas indicaron valores elevados, siendo mayores en las plantas inoculadas. Por último los polisacáridos se incrementaron con la presencia de la higuera y aun más cuando se aplicó el inóculo.

El porcentaje de colonización de micorriza fue mayor cuando no hay presencia de enmiendas, pero si estas se aplican, la vermicomposta ofrece el mayor porcentaje, seguida de la composta y finalmente el estiércol de bovino.

De manera general se puede concluir que los mejoradores utilizados favorecieron las características físicas, químicas y bioquímicas del tepetate, lo que permite el desarrollo de las plantas y mejora la calidad productiva del tepetate.

---

## Abstract

Tepetate is a hardened layer of volcanic origin, found at low depth in some soil profiles. After being exposed at the surface, it represents a problem for the plants species, due to its high hardness, low organic matter content and mass structure, making plant development poor. The objective of this paper was to evaluate the organic emendations effect, a vegetal species and mycorrhiza upon the physical, chemical and biochemical characteristics of tepetate, to improve its productive quality.

The experiment took place with tepetate of the municipality of Tetela del Volcán, state of Morelos, Mexico, in the greenhouse of the Geology Institute, UNAM. The design was bifactorial having as factors the plant (*Ficus carica*, L) and different emendations (bovine manure, compost and vermicompost). The material was disintegrated in fragments of 10 and 2 mm and later it was placed in plots without holes, adding the emendations according the treatments. The plants were inoculated and transplanted

The experiment lasted for 12 months, the plants were cut down, taken to dryness and then the laboratory analyses were performed.

In the physical analyses aggregation and stability a predominance of the largest fraction and an increase in the smallest was observed, indicating dispersion and aggregation material processes. The fact that stability is lower in the different fractions, indirectly shows aggregate formation, because these are less stable than tepetate fragments that due to their cementation offer a higher stability.

Regarding chemical analyses (pH, O.M, C.E.C., Ca, Mg, Na and K), pH values are close to neutral and the carbon percentage increased. Cationic exchange capacity showed high values in all treatments and also the exchange bases.

The biochemical characteristics (F.O.M, Carbon, Fulvic and Humic acids, humins and polysaccharides) indicated a larger content in treatments with organic emendations. Carbon showed higher percentages on inoculated treatments and due to compost presence. More fulvic than humic acids were observed and higher percentages appeared on inoculated and compost treatments. Humins gave high values, being largest in the inoculated plants. The polysaccharides content was higher with plant and inoculated treatments.

The colonization percentage was larger without emendations, but if they are applied, vermicompost shows the highest percentage, followed by compost and finally, bovine manure.

In general, it can be concluded that the use emendations, favoured the tepetate physical, chemical and biochemical characteristics allowing the plant development and improving the tepetate productive quality.

## 1. INTRODUCCIÓN

En México uno de los principales problemas ambientales es la degradación del suelo, debido al mal manejo y al uso inadecuado de técnicas agrícolas. La pérdida del suelo provoca que se busquen nuevos sitios para cultivar, debido a que ya no se obtienen los rendimientos deseados, lo cual da como resultado que las áreas erosionadas se incrementen. En algunos lugares, al perderse la capa superficial de suelo, queda expuesto lo que se conoce como tepetate. Una vez que aflora, constituye una problemática para el desarrollo de especies vegetales, debido a que presenta un alto grado de dureza, un bajo contenido de materia orgánica, estructura masiva y bajo contenido de nitrógeno y fósforo; lo cual provoca que el desarrollo de las plantas sea limitado.

Los tepetates se conocen desde hace mucho tiempo, por lo que se ha encontrado que para su incorporación a la productividad es necesario que se roten para, de esta manera, permitir una aireación suficiente e incrementar la retención de agua. Así mismo, resulta conveniente la aplicación de enmiendas como fertilizantes y abonos, para facilitar el establecimiento de cultivos. Al aplicar los abonos se favorecen de diferentes formas las características físicas y químicas del tepetate; así como también, el desarrollo de microorganismos y especies vegetales. Múltiples especies vegetales que pueden ser utilizadas para habilitar los tepetates, pero una cosa muy importante es el tener en cuenta los cultivos de las zonas en donde se encuentra el tepetate, ya que estas especies están adaptadas a las características ambientales del lugar y pueden representar un beneficio para los pobladores de la zona. De este modo se incrementa la cantidad de materia orgánica y se favorecen las características químicas, físicas y biológicas del tepetate, lo cual ayudará a dar una alternativa para la habilitación de este recurso.

---

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de tres enmiendas orgánicas, una especie vegetal y una micorriza, sobre las características físicas, químicas y bioquímicas de un tepetate fragmentado, como estrategia para mejorar su calidad productiva.

### 2.2 Objetivos Específicos

- ❖ Cuantificar la formación de agregados a partir de tepetate fragmentado y su estabilidad en húmedo, por efecto de la adición de tres enmiendas orgánicas (estiércol de bovino, composta y vermicomposta), la introducción de una especie vegetal (higuera, *Ficus carica* L.) y la interacción con micorrizas.
- ❖ Evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas, la especie vegetal y las micorrizas, sobre las características químicas (pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables) del tepetate.
- ❖ Evaluar la cantidad de sustancias húmicas y polisacáridos presentes en el tepetate, por adición de estiércol de bovino, composta, vermicomposta, higuera y micorriza como indicadores de calidad.
- ❖ Evaluar el efecto de las enmiendas y la micorriza, sobre el desarrollo (crecimiento en altura y diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, biomasa aérea y subterránea y biomasa total) de la higuera (*Ficus carica* L.).

## 3. HIPÓTESIS

- ❖ La adición al tepetate, de estiércol de bovino, composta y vermicomposta, la introducción de plantas de higuera y su relación con la micorriza, incrementarán la formación de agregados estables en dicho sustrato.
- ❖ El aporte de las enmiendas orgánicas, la especie vegetal y la micorriza, incrementarán el contenido de MO, la CIC y de bases del tepetate. Así mismo, creará condiciones adecuadas, para el desarrollo de plantas y biota.

- ❖ Las enmiendas incrementarán, en forma diferencial, el contenido de sustancias húmicas y polisacáridos del tepetate.
- ❖ El rendimiento, en biomasa (crecimiento en altura y diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, biomasa aérea y subterránea y biomasa total), de la planta se incrementará con la aplicación de estiércol de bovino, composta, vermicomposta y micorriza.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1 Tepetate

#### 4.1.1 Definición

La palabra tepetate deriva del Náhuatl y está compuesta por las raíces, *tetl*, que significa piedra y *petlatl*, petate. Como término nativo, incluye a todas las capas endurecidas. Sin embargo, actualmente, se considera como tepetate a las capas endurecidas formadas por procesos geológicos, con influencia posterior de procesos edafogénicos y cuyo depósito original involucra materiales de origen volcánico (Velázquez, 2002).

Las capas endurecidas pueden formarse por diferentes procesos. Flores *et al.* (1996), mencionan que algunos procesos que explican la dinámica de las capas endurecidas son: 1) consolidación de las partículas minerales, lo que provoca la compactación; 2) el endurecimiento del material piroclástico al momento de su depósito (origen ígneo) y 3) cementación por procesos pedológicos que producen cementantes en solución. Los cementantes pueden ser sílice, óxidos de hierro y aluminio, carbonatos de calcio y sulfato de calcio. Nimlos y Hillery (1990) mencionaron que el endurecimiento de las capas ocurre por dos procesos, el primero ocurre durante la consolidación geológica; la pedocementación, con sílice o carbonatos, ocurre como un proceso secundario.

Dependiendo de su dureza, los tepetates pueden ser tipo fragipán o tipo duripán. Flores *et al.* (1992) mencionaron que el fragipán es un horizonte subsuperficial de textura franca; tiene una densidad aparente alta en relación con los horizontes

- ❖ Las enmiendas incrementarán, en forma diferencial, el contenido de sustancias húmicas y polisacáridos del tepetate.
- ❖ El rendimiento, en biomasa (crecimiento en altura y diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, biomasa aérea y subterránea y biomasa total), de la planta se incrementará con la aplicación de estiércol de bovino, composta, vermicomposta y micorriza.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1 Tepetate

#### 4.1.1 Definición

La palabra tepetate deriva del Náhuatl y está compuesta por las raíces, *tetl*, que significa piedra y *petlatl*, petate. Como término nativo, incluye a todas las capas endurecidas. Sin embargo, actualmente, se considera como tepetate a las capas endurecidas formadas por procesos geológicos, con influencia posterior de procesos edafogénicos y cuyo depósito original involucra materiales de origen volcánico (Velázquez, 2002).

Las capas endurecidas pueden formarse por diferentes procesos. Flores *et al.* (1996), mencionan que algunos procesos que explican la dinámica de las capas endurecidas son: 1) consolidación de las partículas minerales, lo que provoca la compactación; 2) el endurecimiento del material piroclástico al momento de su depósito (origen ígneo) y 3) cementación por procesos pedológicos que producen cementantes en solución. Los cementantes pueden ser sílice, óxidos de hierro y aluminio, carbonatos de calcio y sulfato de calcio. Nimlos y Hillery (1990) mencionaron que el endurecimiento de las capas ocurre por dos procesos, el primero ocurre durante la consolidación geológica; la pedocementación, con sílice o carbonatos, ocurre como un proceso secundario.

Dependiendo de su dureza, los tepetates pueden ser tipo fragipán o tipo duripán. Flores *et al.* (1992) mencionaron que el fragipán es un horizonte subsuperficial de textura franca; tiene una densidad aparente alta en relación con los horizontes

superficiales y un contenido de materia orgánica bajo; parece cementado cuando está seco, pero cuando está húmedo es frágil. Un tepetate tipo duripán es un horizonte con características similares a las del fragipán, pero se encuentra fuertemente cementado por sílice (Flores *et al.*, 1996).

Etchevers (1997) mencionò algunas de las características en común que presentan los tepetates en varios estudios realizados:

- ❖ Los tepetates presentan serios problemas físicos, químicos y biológicos, que impiden, en su condición natural, el crecimiento de las plantas
- ❖ La densidad aparente de los suelos volcánicos endurecidos en su estado natural es cercana a  $1.6\text{mgm}^{-3}$ , mientras que la de los roturados es de aproximadamente  $1.2\text{mgm}^{-3}$ . Su porosidad total en el primero de los estados es de alrededor del 50%, pero la macroporosidad es muy baja (<5%), lo que dificulta la penetración de las raíces, agua y aire.
- ❖ En general contienen suficiente arcilla (>20%) y poseen una CIC considerada como media (>15 cmolkg<sup>-1</sup>), lo que es suficiente para tener una adecuada capacidad de retención de agua y nutrimentos.
- ❖ La disponibilidad de nitrógeno y fósforo de los suelos volcánicos endurecidos es muy baja, lo que constituye un serio obstáculo para el crecimiento de las plantas.
- ❖ La disponibilidad de fósforo para los cultivos es muy baja (<3ppm P-Olsen), pero su capacidad de adsorción es elevada, lo que permite aumentar su concentración en el medio con relativa facilidad.
- ❖ El contenido de materia orgánica, característica estrechamente relacionada con el suministro de nutrimentos y las propiedades físicas, es muy bajo. Lo cual provoca también que la biomasa microbiana sea muy baja.
- ❖ El pH es de neutro a ligeramente alcalino, reacción propicia para el crecimiento de las plantas.
- ❖ En general la concentración de cationes intercambiables observada es adecuada, aunque se ha constatado que el potasio de este tipo puede disminuir con los años de cultivo, pese a la abundancia de vidrios volcánicos primarios que lo contienen.

### 4.1.2 Distribución

Los tepetates se presentan en diversos lugares de América Latina y del mundo, en los cuales, también se han realizado estudios para tratar de incorporarlos a la productividad. Etchevers y Ferrera (1994), mencionaron que en cada una de las regiones se les denomina de diferente manera, pero los nombres no son consistentes en cuanto al origen y tipo de material. En México se les denomina tepetates, en Nicaragua talpetates, en Ecuador cangahua, en Perú a algunos se les llama sillares y en Japón se les conoce como masa, kora, nigarsuchi.

Flores *et al.* (1991) y Pimentel (1992) mencionaron que los tepetates se localizan en climas húmedos templados, en ambientes con suficiente precipitación para disolver los productos del intemperismo, pero donde no ocurre lixiviación. Se encuentran en suelos de origen volcánico, a lo largo del Eje Neovolcánico, en Tlaxcala, Morelos, Edo. de México, Veracruz, Puebla, Michoacán, Hidalgo, Querétaro y Jalisco (Fig. 1). Frecuentemente se encuentran en el pie de monte, a una altitud de 1500 a 2200 msnm. Aproximadamente cubren 30700 km<sup>2</sup> del Eje Neovolcánico que equivale al 30% de la superficie total (Zebrowski, 1992), en donde constituyen un grave problema de degradación, debido a que se localizan en zonas con gran presión demográfica.

### 4.1.3 Importancia

Arias (1992) mencionó que las limitantes o problemática que presenta el tepetate para su integración al proceso productivo, se puede agrupar en cuatro. Estas son: alta dureza, baja retención de humedad, baja fertilidad y difícil manejo. En cuanto a la dureza, esta se debe a que los tepetates presentan una estructura masiva, ya que las partículas se encuentran consolidadas y cementadas. Zebrowski (1992), mencionó que esto no permite la penetración de las raíces, provocando que se tenga una baja porosidad efectiva y por lo tanto, una alta impermeabilidad. Lo que da como resultado un pobre crecimiento de las especies vegetales y por tanto no se presenta una

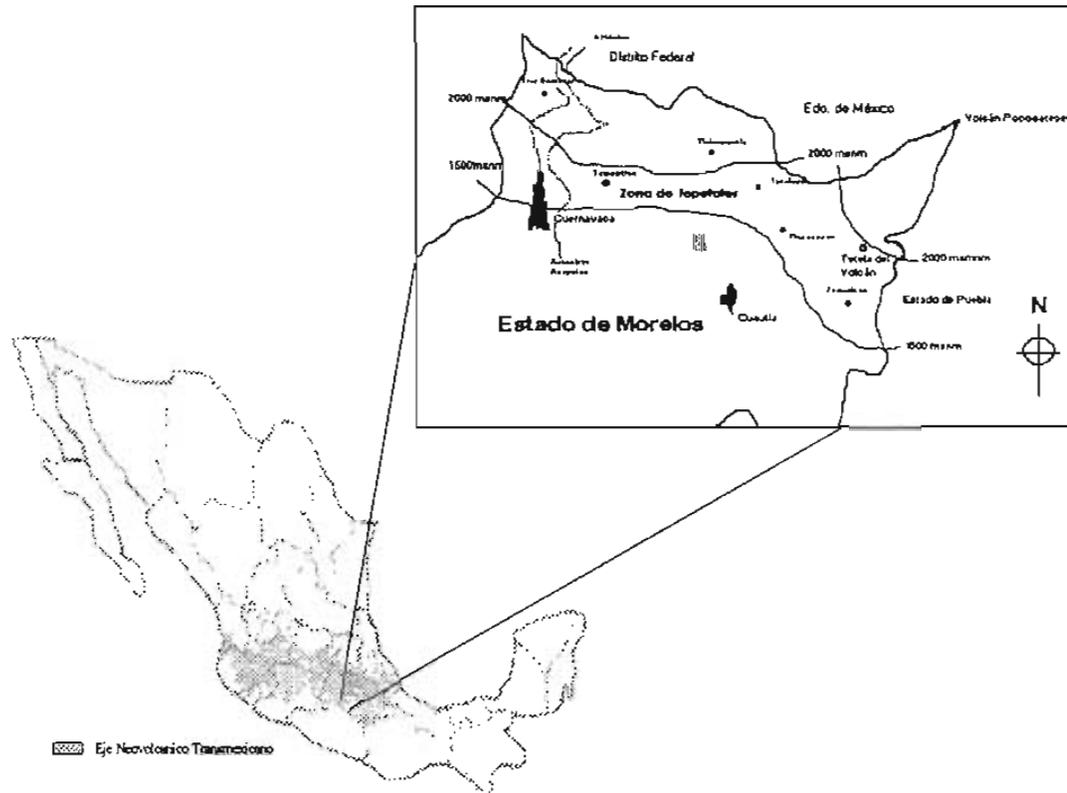


Figura 1. Mapa del eje Neovolcánico transmexicano y distribución de los suelos con tepetate en el estado de Morelos.

acumulación de residuos, manifestándose valores bajos de materia orgánica. Pérez *et al.* (2000), mencionaron que la carencia de nitrógeno es uno de los factores que más restringe el crecimiento de las plantas; esto es debido a la casi nula presencia de reservas orgánicas, lo cual también da como resultado, una reducida biomasa microbiana

Por lo que respecta al manejo de estos materiales, aparte de dureza y bajo porcentaje de materia orgánica, Arias (1992) mencionó que su problemática se debe a que los tepetates se encuentran en lomeríos, en los cuales las pendientes son muy pronunciadas. Esto provoca que sean más susceptibles a la erosión, por lo que al ser habilitados, se debe tener cuidado en las prácticas agrícolas que se utilizan para no volver a perder el recurso.

#### **4.1.4 Habilitación**

Una vez que los tepetates afloran la zona no puede ser utilizada, ya que por sus características no permite el desarrollo de especies vegetales debido a que impide el desarrollo radical, por lo que es necesario modificar sus características físicas y químicas, para mejorar su calidad productiva. Desde hace ya muchos años los Tlaxcaltecas tenían conocimiento de la problemática que representan los tepetates, así como algunas formas de incorporarlos a la agricultura (Ruiz, 1987). Una de estas formas era por medio de la quema de las pencas de maguey y la adición de las cenizas al tepetate, con lo cual incorporaban nutrimentos, así como el cultivo de especies resistentes. Arias (1992), mencionó que el laboreo y la fertilización de los tepetates existen desde tiempos prehispánicos a través de relleno con suelo fértil, o preparando el terreno mediante el rompimiento de la costra superior, la pulverización de terrones y la fertilización a través de la quema de hojas de maguey.

Como se mencionó anteriormente, una de las principales limitantes de los tepetates es su estructura masiva, la cual les confiere un alto nivel de dureza, por lo que para poder iniciar con una habilitación para un uso agrícola, es necesario primero

---

fragmentarlo por medio de herramientas comunes como pico, cincel y martillo ó en algunos casos se a hecho con maquinaria. Zebrowski (1992), mencionó que un nivel adecuado de roturación es entre 0.5 y 8.0 mm, ya que de esta forma se permite una buena penetración de agua y aire, pero también, al no ser muy grande, permite su retención así como la de nutrimentos, para que la planta se desarrolle de una manera adecuada.

También es importante la aplicación de enmiendas que permitan incrementar la cantidad de materia orgánica y de nutrimentos, ya que estas son otras de las problemáticas que presentan los tepetates. Etchevers *et al.* (1998), mencionaron que la materia orgánica se relaciona con la fertilidad física, química y biológica de los tepetates. Los productos metabólicos de la descomposición de los residuos de las cosechas y abonos orgánicos, constituyen elementos importantes en la estructuración del suelo, proceso fundamental para la acumulación de reservas hídricas y para proveer a las plantas de un sustrato de fácil exploración radical, así como para un adecuado abastecimiento de nutrimentos.

Se sabe que la aplicación de la materia orgánica aporta nutrimentos al suelo para que se puedan desarrollar las plantas, pero también ayuda en la estructuración del tepetate. En trabajos anteriores (Acevedo, 1997; García, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Velázquez, 2002) se han aplicado enmiendas inorgánicas y orgánicas al tepetate, como fertilizantes y estiércoles, los cuales han dado resultados que favorecen el mejoramiento de las características del tepetate y de los cultivos. Estas enmiendas permiten que se presente una mejora en la estructuración del material, pero también ayudan al desarrollo de las especies a introducirse.

Pero la aplicación de materia orgánica y la roturación no sólo ayudan a mejorar las características físicas y químicas del tepetate y permitir el desarrollo de la planta, sino que también promueven el crecimiento microbiano, lo cual se ve reflejado en un aumento en el número de actinomicetos, bacterias y hongos, en comparación con el tepetate en estado natural (Ferrera-Cerrato, 1992).

Se espera que los residuos orgánicos, así como los subproductos de la actividad microbiana, contribuyan a un mejoramiento rápido de las características físicas y químicas relacionadas con la fertilidad de los tepetates. Por lo que en algunos estudios (Álvarez *et al.*, 2000; Izquierdo, 2004) se han aplicado composta y vermicomposta para habilitar los tepetates, encontrándose resultados favorables (incremento en la agregación y estabilidad de agregados y un incremento en el contenido de materia orgánica) con este tipo de enmiendas. Sin embargo, todavía hace falta mayor estudio en este aspecto.

Como se mencionó anteriormente, se han implementado diferentes metodologías para mejorar la calidad de los tepetates, algunas incluyen la roturación, nivelación, construcción de terrazas en las cuales se planta nopal o maguey, surcos en contorno, reforestación, cultivos de rotación, cultivos en franjas, incorporación de altas cantidades de materia orgánica y de fertilizantes (Etchevers y Ferrera, 1994). Todas ellas con el fin de habilitarlos y poder incorporarlos a la productividad agrícola.

Actualmente, organismos nacionales (Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Universidad Autónoma de Veracruz, Universidad Nacional Autónoma de México) e internacionales (IRD de Francia, Universidad de Gieseen de Alemania, Fundación México-Alemania y la Unión Europea), han establecido en México programas enfocados al estudio de la caracterización morfológica, cartográfica, mineralógica y micromorfológica de los tepetates, así como de su erodabilidad y fertilidad (Velázquez, 2002).

## **4.2 Estructura**

### **4.2.1 Definición**

El término de estructura del suelo, ha sido aplicado para un grupo de características que describen la heterogeneidad del arreglo de las partículas y del espacio poroso, que existe en el suelo, lo cual depende de la distribución de las partículas primarias, así como de su tamaño. Las fuerzas que afectan el arreglo son la

contracción y expansión, el congelamiento y deshielo, el movimiento del agua, el crecimiento y descomposición de las raíces y los animales; así como también procesos químicos y biológicos que movilizan materiales que pueden ayudar a unir las partículas del suelo en un arreglo jerárquico (Oades, 1993; Marshal *et al.*, 1996; Kay y Angers, 2002).

Feller *et al.* (1996) mencionaron, que la estabilidad estructural puede ser definida de dos maneras: en un sentido descriptivo o en sentido estático. En el primer caso, la estabilidad del suelo corresponde a las propiedades del suelo que regulan y reflejan un continuo arreglo en los diferentes tamaños de los poros interconectados, su estabilidad, capacidad de retener y transmitir fluidos, así como su habilidad para suministrar agua y nutrimentos necesarios para soportan la actividad del crecimiento de raíces. En el segundo caso, la estructura del suelo es el arreglo de las partículas primarias en agregados, cuya formación es por medio de diferentes fuerzas y ocurre de una manera natural.

Nadler y Steinberg (1993) y Marshall *et al.* (1996), demostraron que la estructura del suelo afecta otras características, como son el transporte y retención de agua, solutos y fertilizantes, la aireación, crecimiento y desarrollo de raíces, entre otras, y que esto se ve reflejado en la calidad de la estructura del suelo y su estabilidad, durante un período largo.

#### **4.2.2 Agregación**

Un agregado es un grupo de dos o mas partículas primarias, que se unen a otras. Las partículas adyacentes son adheridas con mayor fuerza entre sí, que con las circundantes (Kemper y Rosenau, 1986).

Acevedo y Flores (1997), mencionaron que la agregación es un fenómeno dinámico que se relaciona con la retención y movimiento del agua, el intercambio gaseoso, las propiedades mecánicas, la germinación de las semillas, el desarrollo

---

radical, la compactación y la erosión. La formación de los agregados del suelo depende de la naturaleza y el contenido de materia orgánica, el contenido de arena, limo y arcilla, de la naturaleza de los minerales de arcilla, la población microbiana y su actividad y, en menor grado, de factores abióticos.

Algunas características que influyen en la estructuración del suelo y, por lo tanto, en la agregación, son la textura, mineralogía de las arcillas, composición de los iones intercambiables y contenido de materia orgánica. Otros factores que influyen son el clima, procesos biológicos, el manejo del suelo y la profundidad del perfil (Kay, 1998).

Un modelo conceptual del mecanismo de agregación, es el que menciona que las partículas primarias y las arcillas microestructurales, son unidas por restos de hongos y bacterias formando microagregados (2-20  $\mu\text{m}$  de diámetro), los cuales a su vez, son unidos por restos de hongos y plantas formando microagregados de mayor tamaño (20-250  $\mu\text{m}$  de diámetro). Los microagregados al mismo tiempo se unen para formar macroagregados (>250  $\mu\text{m}$  de diámetro) por diferentes agentes de unión. La diferencia entre micro y macroagregado se basa, tanto en el tamaño, como en la susceptibilidad a ser destruidos (Jastrow y Miller, 1998).

### Factores físicos

Payne (1992) y Marshall *et al.* (1996), mencionaron que la ruptura y la debilidad de la superficie, de manera natural, separa y une a las partículas, lo cual puede ser provocado por la sequía y la humedad, ocasionando que se destruyan y se formen agregados. Los ciclos de humedecimiento y secado provocan incremento y contracción de volumen, lo que ocasiona movimiento del suelo adelante y atrás, y moviliza las partículas del suelo. Lo mismo ocurre con el congelamiento y el deshielo, que de esta manera favorecen la formación de agregados (Troeh y Thompson, 1993).

## Factores químicos

Dentro de los factores químicos se encuentran los cationes presentes en los suelos, de los cuales, algunos pueden beneficiar la unión de partículas más que otros, ya que la naturaleza y cantidad de cationes intercambiables, por su efecto de dispersión y floculación de arcillas, influye en la agregación del suelo. La dispersión físico química resulta de la reducción de las fuerzas de atracción entre las partículas coloidales en húmedo. La estabilidad de los coloides depende de la interacción entre las fuerzas de Van Der Waals y la repulsión eléctrica, por lo que la dispersión o estabilidad de cationes depende de su tamaño y valencia. Por lo tanto, se pueden ordenar según su capacidad estabilizadora:  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$  (Levy y Van der Watt, 1990).

La mineralogía de las arcillas influye directa e indirectamente en la agregación del suelo, ya que modifica características del suelo que afectan la agregación, así como también se unen con otros minerales, lo que dependerá de la cantidad de arcillas, el tiempo y los minerales con los que interaccionen (Kay y Angers, 2002; Bronick *et al.*, 2004). Probablemente las interacciones hierro-caolinita produzcan fuerzas de cohesión fuertes, comparadas con las interacciones arcilla-arcilla que corresponden a esméctitas, la cual tiene menos fuerza de cohesión. Las arcillas también actúan en la dispersión química, junto con los iones intercambiables y la concentración de electrolitos del suelo (Le Bissonnais, 1995).

La materia orgánica es un factor importante en la unión de las partículas del suelo, y actúa de diferentes maneras. Stevenson (1994) mencionó que los constituyentes orgánicos pueden influir en la agregación del suelo de las siguientes maneras:

- ❖ Actúa como agentes de unión entre las partículas de arcilla por : adsorción de la superficie de las arcillas, por medio de cationes intercambiables, por cationes polivalentes (arcilla-metal-humus), por puentes de hidrógeno, por fuerzas de Van der Waals y por penetración en los espacios porosos.

- ❖ Mediante la formación de capas de geles orgánicos, como los polisacáridos, que recubren a las unidades del suelo o actúan como cementantes.

### Factores biológicos

Las plantas tienen influencia en la agregación del suelo a través de diversos mecanismos, que incluyen, la estructura y distribución de las raíces, debido a que éstas presionan las partículas del suelo y las expanden durante su crecimiento, lo que provoca que se unan y a la vez, se separen. Por otra parte, están, también, la calidad y cantidad de los suministros de carbono, así como el efecto de microambientes y su influencia en la comunidad microbiana y su actividad (Rilling *et al.*, 2002). Además, al extraer agua del suelo, las plantas inducen un cambio en las condiciones locales, lo que favorece el aumento de poros en el suelo.

Otro de los factores importantes es la presencia de los microorganismos en el suelo, ya que éstos se encargan de remover las partículas minerales al moverse a través de los poros o grietas, así como de la descomposición e incorporación de la materia orgánica al suelo. Por ejemplo las hifas de los hongos unen las partículas del suelo por efecto mecánico y ayudan a incrementar el área de interacción de la planta con el suelo. Pero también, algunos de los productos de la descomposición de las raíces y de la materia orgánica, actúan como agentes cementantes y como fuente de energía. Uno de los agentes más importantes, son los polisacáridos (Marshall *et al.*, 1996; Payne, 1992).

La comunidad microbiana puede mediar los procesos de formación de suelo de dos maneras: en el mantillo y en la capa inferior. El origen de los compuestos orgánicos como pueden ser los polisacáridos entre otros, en el mantillo, depende de la naturaleza de las plantas del sitio y tienen un impacto directo sobre el rango y tipo de desarrollo de la estructura del suelo (Tate III, 1992).

### 4.2.3 Estabilidad

La estabilidad es la capacidad que tienen los agregados del suelo de resistir condiciones de estrés, provocadas por el efecto del agua, la compresión de las partículas, entre otros. La estabilidad de los microagregados se debe a la asociación de las sustancias húmicas con las arcillas, estas uniones son resistentes al manejo y se reflejan en las propiedades del suelo (Tate III, 1992). Algunos factores que influyen en la estabilidad de los agregados, incluyen los polisacáridos de los microorganismos, glomalina derivada de las micorrizas arbusculares, hifas de los hongos, la biomasa microbiana del suelo, las raíces de las plantas, el suministro de carbono y nitrógeno de las plantas y los ácidos húmicos aromáticos (Eviner and Chapin III, 2002)

La estabilidad de los agregados y los poros decrece en el suelo por varias razones, por ejemplo, la resistencia del suelo decrece con el contenido de agua debido a que se reduce la fuerza de cohesión y la acción de los cementantes. Así como también, el rápido humedecimiento del suelo puede causar daño por el aire atrapado por el agua, que se comprime provocando tensión y escapa explosivamente, induciendo el rompimiento de los agregados (Kemper, 1965).

Tisdall y Oades (1982), mencionaron que los agentes cementantes se pueden dividir por el periodo que se encuentran presentes en el sustrato en:

- 1) Agentes transitorios, que son materiales orgánicos que son descompuestos rápidamente por microorganismos. El grupo más importante es el de los polisacáridos, en los que se incluyen los de origen microbiano, producidos en varios materiales orgánicos, los cuales son incorporados al suelo y algunos que se encuentran asociados con raíces. Los polisacáridos se producen rápidamente, pero también se degradan fácilmente. Se asocian con la estabilidad transitoria de los macroagregados (>250  $\mu\text{m}$  diámetro).
- 2) Agentes temporales son las raíces y las hifas, particularmente vesículo-arbusculares e hifas micorrícicas. Estos agentes se encuentran en el suelo pocas semanas o meses,

como las asociaciones de raíces con hifas. Los agentes temporales se asocian con pequeños macroagregados y pueden ser comparados con el esqueleto orgánico de los granos.

3) Agentes persistentes, que se originan de la degradación de materiales orgánicos aromáticos, asociados al hierro amorfo, aluminio y aluminosilicatos, para formar la fracción órgano-mineral del suelo, la cual constituye del 52-98 % del total de la materia orgánica del suelo. Estos agentes son, probablemente, derivados de fragmentos resistentes de raíces, hifas y actividad de bacterias desarrolladas en la rizósfera.

En cuanto al tamaño de los agregados, como ya se mencionó, se pueden diferenciar dos grupos, los cuales se considera son estabilizados de diferentes maneras. 1) Los macroagregados ( $>250\mu\text{m}$ ), los cuales son estabilizados por el empaquetamiento de las raíces y las hifas, particularmente de micorrizas vesículo arbusculares. Estos agentes son clasificados como agentes de unión temporal y están asociados a los polisacáridos. Así como también dependen de una manera directa del manejo del suelo. 2) Los microagregados ( $<250\mu\text{m}$ ) son estabilizados por agentes de unión orgánicos u órgano-metálicos, más persistentes, entre los que se incluyen restos de plantas y hongos materiales húmicos y polisacáridos amorfos, originados por raíces y microorganismos del suelo. La estabilidad de los microagregados del suelo puede ser una característica intrínseca del suelo y ésta no depende del manejo del mismo (Feller *et al.*, 1996).

Feller *et al.* (1996) mencionaron que la estabilidad de la estructura del suelo es consecuencia de numerosos factores que interaccionan, incluyendo rotación y prácticas de cultivo, contenido de materia orgánica y actividad biológica. Lo anterior, debido a que los cambios en el manejo del suelo, dan como resultado cambios en la distribución de la materia orgánica, lo cual se relaciona con la textura y, por lo tanto, con la formación y estabilidad de los agregados.

Como se mencionó anteriormente, uno de los principales factores que ayuda tanto a la formación, como a la estabilización de los agregados, es la materia orgánica. Por lo tanto, es importante el incorporarla a los tepetates, debido a que una de sus principales limitaciones es la baja cantidad de materia orgánica que presentan de manera natural. Por lo que al incorporar materia orgánica a este sustrato, se incrementa su fertilidad, y se propicia la modificación de otras propiedades, con lo cual favorece la habilitación de los tepetates. Esta incorporación de materia orgánica, puede darse por medio de enmiendas orgánicas como son: estiércol, compostas, vermicompostas y otras.

### **4.3 Materia orgánica**

#### **4.3.1 Definición**

Labrador (1996) mencionó que la materia orgánica representa en sí misma, un sistema complejo integrado por diversos componentes. Su dinamismo está determinado por la incorporación al suelo de restos de origen vegetal, animal y microbiano y, por la transformación y evolución de éstos, mediada por la interacción de múltiples procesos. La fracción orgánica se puede dividir en dos grupos: 1) materia orgánica fresca o lábil, la cual esta formada por restos de animales, plantas y microorganismos, transformados de forma incompleta, que sirven como fuente del humus. 2) materia orgánica transformada o estable, que a su vez incluye dos grupos; uno, constituido por productos resultantes de la descomposición avanzada de residuos orgánicos y su síntesis microbiana y, otro, formado por las sustancias húmicas.

De acuerdo con Aguilera (1989), la materia orgánica de los suelos se forma y acumula en ellos por la incorporación de residuos vegetales a nivel rizósfera y por la caída de las hojas, frutos, corteza de los fustes, así como aquella incorporada por los microorganismos y sus productos de descomposición. La materia orgánica se fermenta por la acción de los microorganismos, formándose quelatos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas, aminoácidos de bajo y alto peso molecular, bases púricas y pirimidicas, proteínas de bajo y alto peso molecular, azúcares, grasas y ceras.

Con el avance de la descomposición en el perfil, la Materia Orgánica Libre (MOL) es mineralizada y humificada gradualmente, resultando en una mezcla de residuos con estructuras identificables (materia orgánica ligera) y compuestos de las sustancias húmicas (materia orgánica pesada o ligada) donde las estructuras que le dieron origen no se pueden identificar ni a simple vista, ni por microscopía óptica. Estos cambios morfológicos están relacionados directamente con el grado de humificación o maduración. Las sustancias húmicas son sustancias amorfas, de color oscuro, hidrofílicas, acídicas, parcialmente aromáticas, de estructura química muy compleja, que comprenden del 65 al 80% de la materia orgánica de los suelos minerales.

Los materiales orgánicos no húmicos están constituidos de polisacáridos, otros compuestos proteicos y pépticos. Los compuestos húmicos se forman durante la descomposición microbiana de los recursos primarios y secundarios. La definición de Sustancias Húmicas emitida por la Sociedad Internacional de las Sustancias Húmicas (IHSS), se basa en la conducta de solubilidad en soluciones acuosas básicas y ácidas. Las sustancias húmicas se estudian, exclusivamente, en sus formas de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas (García, 2002).

La interacción de la materia orgánica con las partículas minerales del suelo, es un proceso fundamental. La interacción órgano-mineral no sólo tiene influencia en la dinámica de materia orgánica del suelo, sino que también contribuye a la formación y estabilidad de los agregados. Como se mencionó, la estructura del suelo es el arreglo tridimensional de los constituyentes minerales y orgánicos.

En los dos niveles de agregación, microagregados y macroagregados, están implicados diversos materiales orgánicos, los cuales predominantemente estabilizan a los agregados. Materiales orgánicos, resultado del proceso de humificación y otros procesos biológicos, son utilizados en la unión de arcillas en partículas (<20 $\mu$ m) dentro de agregados (<53 $\mu$ m) y partículas de materiales orgánicos, los cuales a su vez forman grandes microagregados para, posteriormente, formar macroagregados. Las sustancias de unión de partículas y microagregados, son materiales secretados por los microorganismos o por procesos de descomposición. Los restos de raíces, hifas de

hongos y fragmentos de plantas, los cuales están en un estado de menor descomposición, o bien, los mucílagos que producen, unen a los macroagregados

La incorporación de materia orgánica al tepetate puede ser por medio de enmiendas orgánicas, los cuales, son compuestos que ayudan a mejorar las características tanto físicas, químicas y biológicas del material.

#### **4.3.2 Estiércol**

Los estiércoles están constituidos por las heces y la orina de los animales de granja, mezclados con paja y residuos de cosechas, que en algunas ocasiones han sufrido fermentaciones más o menos avanzadas en el establo y después, en el estercolero. Están compuestos por materiales hidrocarbonados, nitrogenados y microorganismos (Labrador, 1996). El contenido nutrimental varía dependiendo del tipo de estiércol, tal como se observa en la Tabla 1.

Los estiércoles pueden encontrarse en diferentes presentaciones, como son:

**Estiércol sólido:** se compone principalmente de excretas, una pequeña parte de orina y paja. Los principales productores son el ganado vacuno, porcino y aviar (Finck, 1988; Domínguez, 1989).

**Estiércol líquido:** se denomina así al líquido compuesto principalmente por orina fermentada (descomposición microbiana), procedente de los animales domésticos, mezclada con partículas de excremento, jugos que fluyen del estiércol y agua (Finck, 1988).

**Estiércol semilíquido** es una mezcla de excrementos y orina a la que se le añade una cierta cantidad de agua para facilitar su transporte y distribución. Puede ser considerado una mezcla de los dos tipos anteriores (Domínguez, 1997).

Tabla 1. Contenido nutrimental de algunos abonos

Estiércol	Materia seca (%)	Contenido de elementos en kg/Mg de producto					Reacción ácida (A) o básica (B)
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	
Vacuno	32	7	6	8	4	-	A
Oveja	35	14	5	12	3	0.9	A
Cerdo	25	5	3	5	1.3	1.4	A
Gallinaza	28	15	16	9	4.5	-	B
Purines	8	2	0.5	3	0.4	-	-
Harina de hueso	100	20-30	-	-	10	2	-
Sangre seca	100	130	125	-			A
Guano de Perú	100	130		25	10	4	-

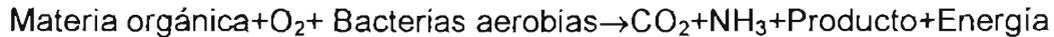
Fuente: Domínguez, 1997

### 4.3.3 Composta

El compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual, los microorganismos actúan sobre la materia fácilmente degradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "composta", un abono excelente para la agricultura. La composta se puede definir, como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. La composta es una fuente de nutrimentos para el suelo, que mejora la estructura, ayuda a reducir la erosión y mejora la absorción de agua por parte de las plantas (Infoagro,2004)

Day y Kathleen (2001), mencionaron que el composteo es una serie de procesos biológicos interdependientes, que se lleva a cabo por medio de microorganismos para

la descomposición de la materia orgánica. La mayoría de los procesos o sistemas, son aerobios. La ecuación bioquímica, que representa el proceso de composteo puede resumirse como sigue



De acuerdo con Fassbender y Bornemisza (1987), la composta es una mezcla de residuos vegetales y animales, que se aplica en el suelo en un paso intermedio del proceso de descomposición. Su efecto depende de las características químicas del producto resultante y de las cantidades aplicadas.

Utilizar la composta como enmienda de suelo, en los sistemas de producción de árboles frutales, puede liberarlos de patógenos, algunas otras semillas viables que puedan presentarse, fitotoxinas y olores. Se puede reducir al mínimo, los plásticos y vidrios y, la concentración de metales pesados, se puede mantener en límites óptimos. La composta tiene un tamaño de partícula adecuado para su uso cuando se encuentra madura y estable y, su balance de nitrógeno, fósforo y potasio, es favorable.

#### 4.3.4 Vermicomposta

La vermicomposta es producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas, que sufre la materia orgánica al pasar por el tracto digestivo de las lombrices de tierra (Ferrera *et al.*, 1992). La vermicomposta o humus de lombriz, es un producto de color oscuro, uniforme, inodoro, suave, suelto, cuya granulometría se asemeja al café molido y que presenta propiedades físicas, químicas y biológicas, completamente diferentes de la materia original (Capistran, 1999).

Vermicomposta es un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo, cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción. Su elevada solubilización, debido a la composición enzimática y bacteriana, proporciona una rápida asimilación por las raíces de las plantas. Produce un

aumento del porte de las plantas, árboles y arbustos, los protege de enfermedades y cambios bruscos de humedad y temperatura, durante el transplante. La vermicomposta contiene cuatro veces más nitrógeno, veinticinco veces más fósforo, y dos veces y media más potasio, que el mismo peso del estiércol de bovino (Infroagro, 2004).

#### 4.3.5 Importancia

La aplicación de enmiendas orgánicas ayuda de diferente manera, tanto a mejorar las características de la planta, como al desarrollo de los diferentes cultivos. Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido de macronutrientes y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos. Así como también, mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos, ya que viven a expensas del humus y, contribuyen a la mineralización.

Fassbender y Bornemisza (1987), mencionaron que la importancia de agregar materia orgánica para mejorar la productividad del suelo, fue detectada desde hace mucho tiempo y algunos de los procesos en los que interviene la materia orgánica son:

- ❖ El suministro de elementos nutritivos por mineralización, en particular, nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes, disponibles para la planta.
- ❖ La estabilización de la acidez del suelo, debido a su poder amortiguador.
- ❖ Contribuye a mejorar la capacidad de intercambio del suelo, debido a que presenta valores muy altos de capacidad de intercambio.
- ❖ La capacidad de intercambio aniónico, donde se acumulan nitratos, fosfatos y sulfatos.
- ❖ La regularización de los niveles de disponibilidad de nutrientes y elementos menores, mediante la formación de quelatos móviles en el suelo y que tienen importancia en los procesos edafogénicos. Los ácidos orgánicos influyen de manera apreciable en la solubilización y movilización de componentes inorgánicos.

- ❖ La volatilización del azufre y del nitrógeno de los suelos, sobre todo los procedentes de la materia orgánica que se descompone fácilmente.
- ❖ Los fenómenos de adsorción, entre los cuales, es de particular importancia la inactividad de plaguicidas.
- ❖ En la estructura del suelo, al favorecer la formación de agregados individuales.
- ❖ En el uso más eficiente del agua, ya que mejora la infiltración, reduce la pérdida de agua por evaporación, mejora el drenaje, estimula el desarrollo de un sistema de raíces más profundo, al oscurecer el suelo promueve una mejor germinación, mejora la aireación y, por último, ayuda a través de los coloides orgánicos a retener agua.
- ❖ En el color del suelo, el cual tiene importancia en el balance térmico

La materia orgánica aporta al suelo macronutrientes como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, sodio, potasio y magnesio, así como micronutrientes como hierro, zinc, cobre, cobalto, boro y manganeso. Incrementa la capacidad de intercambio catiónico total. Además de actuar como amortiguadora del pH. La materia orgánica, al mineralizarse, produce  $\text{CO}_2$  que al combinarse con agua produce ácido carbónico que actúa en el intemperismo. Modifica la estructura de las capas superficiales, favorece la aireación porque actúa a manera de agente cementante, aumentando la cantidad de agregados y manteniendo el espacio poroso (Aguilera, 1989).

La materia orgánica participa en la agregación, de acuerdo con un modelo jerárquico, en el cual, como se mencionó anteriormente, constituye agentes persistentes, temporales y transitorios, que actúan, principalmente, en la formación de microagregados. Los microagregados posiblemente se formen alrededor de materia orgánica persistente (materiales húmicos), como partículas incrustadas en las arcillas y protegidas por materia orgánica producto de la descomposición. Los microagregados son estabilizados por materia orgánica transitoria, formada por polisacáridos y mucílagos. Los polisacáridos son generalmente de origen fúngico. La materia orgánica temporal incluye a las hifas de los hongos, contribuye a unir partículas minerales y a la materia orgánica, en microagregados estables (Neergaard y Leif, 2000).

---

## **4.4 Micorrizas**

### **4.4.1 Definición**

La simbiosis que se establece entre las raíces de las plantas y algunas especies de hongos del suelo, se denomina micorriza (González, 1995). La asociación entre microorganismos y raíces puede ser benéfica, dañina o neutral para la planta, por lo que se debe de tener cuidado en su manipulación para poder obtener los mejores beneficios. Una de las mayores contribuciones de dicha asociación, es el abastecimiento de nutrimentos esenciales como nitrógeno y fósforo.

Entre las simbiosis mutualistas que se presentan entre plantas y microorganismos, destaca aquella que se establece el sistema radical, con un grupo de hongos en particular. Esta asociación simbiótica, desarrolla una estructura compleja, especializada, denominada micorriza, la cual contribuye a la adaptación y desarrollo de las especies vegetales (Alarcón y Ferrera, 1999).

Los hongos micorrízicos son ecológicamente significativos, debido a la asociación que presentan con las raíces de la planta hospedera. La planta provee a los hongos con fuentes de carbono solubles y los hongos benefician a la planta con un incremento en la capacidad de absorber agua y nutrimentos del suelo. Esto hace que, en la mayoría de las plantas (95%), se encuentren asociaciones con hongos micorrízicos, algunas de estas asociaciones pueden llegar a ser muy específicas (Entry *et al.*, 2002).

### **4.4.2 Tipos**

Las micorrizas se clasifican de acuerdo con las relaciones que se presentan entre la raíz y los hongos, siendo los dos tipos principales: 1) las ectomicorrizas, en las cuales las hifas de los hongos penetran los espacios entre las células y 2) las endomicorrizas, en donde las estructuras del hongo penetran a la célula. Las ectomicorrizas se forman, generalmente, por hongos superiores y muchas especies

maderables. Las endomicorrizas arbusculares son las más comunes y ocurren en el 90% de las plantas superiores; está usualmente asociada con plantas herbáceas como avena, maíz, tomate, fresa etc. También se forma en árboles como la manzana, cítricos, aguacate y café. Su nombre se deriva de las estructuras internas que forman el hongo en la raíz (González, 1995).

Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999), mencionaron que las micorrizas se pueden dividir en dos tipos, los cuales tienen especial importancia para los aspectos ecológicos, así como para procesos agrícolas y forestales: ectomicorrizas y micorrizas arbusculares. En el caso de la micorriza arbuscular, los hongos pertenecen a la clase de los *Zygomycetes* y al Orden de los *Glomales*.

#### **4.4.3 Importancia**

El beneficio que aportan las micorrizas a la planta está determinado por la actividad del micelio externo del hongo, ya que éste posee mayor capacidad de absorción, mediante la extensa red de hifas que el hongo genera, así como también, pueden actuar como biocontrol de plagas. Uno de los principales beneficios que recibe la planta es el aporte de fósforo (Alarcón y Ferrera, 1999).

La micorriza arbuscular tiene una doble función, ya que penetra a la célula poniendo a su disposición las sustancias nutritivas que vienen del exterior, además, transporta carbohidratos provenientes de la planta, necesarios para el hongo. Las raíces micorrizadas adquieren ventajas fisiológicas, debido a que el hongo crece rápidamente y aumenta la adsorción y traslocación de nutrimentos como P, Ca, Mg, Zn y Cu (Gómez, 1995). Las plantas micorrizadas absorben más eficazmente los nutrimentos y el agua, también se incrementa su grado de crecimiento, ya que favorece la sanidad y longevidad de las raíces, aumentando la tolerancia a la sequía y a altas temperaturas, entre otras características (González, 1995).

El papel de las micorrizas vesículo-arbustivas en la formación de agregados de un suelo, puede agruparse en tres: 1) crecimiento de hifas externas dentro de la matriz del suelo, lo cual crea el esqueleto estructural que unirá a las partículas primarias de una manera física; 2) la creación, por las raíces y las hifas, de condiciones propicias para la formación de macroagregados y 3) la unión de microagregados y pequeños macroagregados por hifas externas y raíces, formando macroagregados. Estos procesos ocurren de manera simultánea (Neegaard y Petersen, 2000).

González *et al.* (2004) mencionaron que la función de los microorganismos del suelo en la formación y estabilidad de la estructura del suelo ahora se reconoce; por ejemplo en las raíces, en particular en los pelos radicales, las hifas de los hongos exudan polisacáridos y otros compuestos orgánicos formando una malla pegajosa que une a las partículas individuales del suelo y microagregados para formar macroagregados. Muchos de estos adherentes resisten a la disolución por agua y no sólo permiten la formación de agregados, sino les dan estabilidad por un periodo largo.

No sólo es importante mejorar las características del tepetate, sino que éstas deben de favorecer el desarrollo de plantas, para que de esta forma las zonas con tepetate se puedan incorporar a la producción. Lo cual, a su vez, también ayudará a mejorar en forma rápida y eficaz, las características de los tepetates.

#### **4.5 Higuera (*Ficus carica* L.)**

##### **4.5.1 Características**

Es un árbol o arbusto caducifolio de 5 hasta 10m de altura, se ramifica a poca altura del suelo y su copa es gruesa. Sus hojas son simples y alternas ovaladas, rugosas, acorazonadas y palmadas. Las ramas son gruesas, de madera poco densa, glabras, extendidas o ascendentes. Presenta un sistema radical abundante, fibroso y de desarrollo superficial extendido. Es considerada una planta de rápido crecimiento (Martínez y Chacalo, 1994).

La higuera es originaria de Asia Sudoccidental, de climas templados a cálidos. En los trópicos se desarrolla en altitudes relativamente altas entre los 900 y 1800 msnm. Su desarrollo se ve favorecido por climas con inviernos benignos y veranos calurosos con poca lluvia. Es una especie típica de clima mediterráneo. En México se cultiva en diversas regiones, requiere una temperatura de 17 a 19° C y una precipitación anual de 900-1200mm. Es un árbol poco exigente en cuanto a las características de los suelos (Vázquez *et al.*, 2000).

#### **4.5.2 Importancia**

La higuera es una planta muy tolerante, ya que por sus características puede ser utilizada en diferentes proyectos productivos. Ha sido utilizada como plantación comercial, tanto de ornamental, como alimenticio, debido a su fruto comestible; en programas de reforestación y como sistema agroforestal. Juscafresa (1978), menciona, que por su sistema radical de gran penetración y expansión en el suelo, la higuera soporta condiciones desfavorables, lo cual, en el caso del tepetate, es conveniente. La higuera es considerada una especie tolerante, ya que no requiere un suelo muy profundo y resiste heladas moderadas.

En trabajos anteriores, sobre cultivo de higuera en tepetates (Velázquez, 1997, 2002; Díaz, 2001; García, 2001), se han reportado resultados favorables, tanto en lo que se refiere a la modificación de las características físicas (agregación y estabilidad) y químicas (pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables) del tepetate, como en el desarrollo de la planta, en diferentes lapsos de tiempo.

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Características de la zona de muestreo del tepetate

Se eligió trabajar con tepetate del municipio de Tetela del Volcán porque está ubicado en el sistema formado por la cordillera del Volcán Popocatepetl, la cual se encuentra en el Eje Neovolcánico, esta zona se localiza dentro de los lugares con tepetates del país (Figura 1).

El municipio se localiza al noreste del Estado de Morelos y se ubica, geográficamente, entre los 18°57' 48'' norte y 99°15'12'' oeste, a 2040 msnm. Tiene una superficie de 98.518 km<sup>2</sup>, cifra que representa el 1.99% del total del Estado. Limita al norte con el Edo. de México; al sur con el municipio de Zacualpan de Amilpas; al este con el Edo. de Puebla; y al oeste con el municipio de Ocuilco. Políticamente, está dividido en 4 localidades, siendo las más importantes: Tetela del Volcán, Hueyapan, Tlalmimilulpan y Xochicalco (INEGI, 2000).

El clima es templado subhúmedo, Cb(m)(w)ig, con lluvias en verano y menos del 5% en invierno (García, 1988). La precipitación es de 1062 mm al año y el período de lluvias es de junio a octubre, la temperatura media es de 16°C (INEGI, 2000). Los recursos forestales se localizan en la parte norte, los cuales, debido a la tala inmoderada, se encuentran en estado de degradación, aunado a la erosión e incendios forestales, incrementan la deforestación. La vegetación está constituida principalmente por coníferas, de las que destacan el pino, cedro y oyamel (Gobierno de Morelos, 2004).

De acuerdo con cifras recientes, en el municipio, se utilizan: 3,035 ha para uso agrícola-frutícola y 6,602 ha para uso forestal. En cuanto a la tenencia de la tierra, se puede dividir en: 3,574 ha de tenencia ejidal, 3,275 ha de tenencia comunal y 3,727 ha de propiedad privada (Gobierno de Morelos, 2004).

El material utilizado en este experimento fue un tepetate tipo duripán, el cual, presenta un color amarillo en seco (10YR 7/6) y pardo amarillento en húmedo (10YR 4/4), así como una textura franca con un 29.26% de arena, 44.48% de limo y 25.71% de arcilla. El porcentaje de fragmentos, mostró un dominio (67%) de la fracción de 5-10 mm, seguido de la de 2-5mm con el 28%. En las fracciones pequeñas 2-0.25 mm el porcentaje fue de 5%, esto debido a que el material se fragmentó entre 2-10 mm (Tabla 2).

La estabilidad también presentó un dominio de la fracción de mayor tamaño (>5mm) la que fue de 61%. Las fracciones menores (2-<0.25) se incrementaron a un 22% debido al rompimiento de los fragmentos por el tamizado. El que en la estabilidad domine la fracción de mayor tamaño al igual que en la distribución de fragmentos en seco es debido a que se tienen solo fragmentos, los cuales son más resistentes que los agregados (Tabla 2)

Por lo que respecta a las características químicas del tepetate al inicio (Tabla 3), el pH es cercano a la neutralidad y presenta un porcentaje de materia orgánica es muy bajo, lo cual es uno de los principales problemas del tepetate. La capacidad de intercambio catiónico es media. En cuanto a las bases intercambiables, se tiene mayor cantidad de Ca y Mg y el porcentaje de saturación de bases es considera alto.

**Tabla 2 Características físicas del tepetate en estado inicial**

Color		Distribución del tamaño de partículas(mm)										
		ARENA						LIMO			ARCILLA	
Seco	Húmedo	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-.25	0.2-0.0	0.10-0.05	Total	0.05-0.02	0.02-.005	0.005-0.002	Total	<0.002
(%)												
	10Y/R4/4											
10YR7/6	Pardo	0.13	1.09	4.03	14.10	9.91	29.26	14.82	19.84	9.82	44.48	25.71
Amarillo	Amarillento oscuro											

Distribución de fragmento(mm)				
5.0-10.0	2.0-5.0	1.0-2.0	0.26-1.0	<0.25
(%)				
67.19	28.05	2.77	1.09	0.93

Estabilidad de los fragmentos (mm)						
>5.0	5.0-3.0	3.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	<0.25
61.53	6.75	9.58	4.72	4.31	3.31	9.81

**Tabla 3 Características químicas del tepetate en estado inicial**

<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>M.O</b>	<b>C</b>	<b>CIC</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>K</b>	<b>S.B.</b>
<b>(1:2.5)</b>	<b>(%)</b>		<b>(cmol+kg<sup>-1</sup>)</b>					<b>(%)</b>
6.73	0.11	0.07	14.88	7.33	4.67	0.12	0.29	83.38

## 5.2 Diseño experimental

El diseño experimental fue un factorial 2 x 3 x 4, lo cual resulta en 24 tratamientos (Tabla 4), con distribución completamente al azar y cuatro repeticiones, lo que corresponde a 96 unidades experimentales. La unidad experimental correspondió a una maceta con tepetate en los testigos, una maceta con tepetate y una planta de higuera y una maceta con tepetate y una planta de higuera inoculada. El ensayo se realizó en condiciones controladas, en el invernadero del Instituto de Geología de la UNAM.

Tabla 4. Tratamientos establecidos.

Tratamiento	Planta	Enmienda	Tiempo (MESES)	Clave
1	Sin	Sin	6	TAB 1
2	Sin	Estiércol	6	TA 1
3	Sin	Composta	6	TC 1
4	Sin	Vermicomposta	6	TV 1
5	Con	Sin	6	P 1
6	Con	Estiércol	6	PA 1
7	Con	Composta	6	PC 1
8	Con	Vermicomposta	6	PV 1
9	Con + inóculo	Sin	6	Pi1
10	Con + inóculo	Estiércol	6	PiA1
11	Con + inóculo	Composta	6	PiC1
12	Con + inóculo	Vermicomposta	6	PiV1
13	Sin	Sin	12	TAB 2
14	Sin	Estiércol	12	TA 2
15	Sin	Composta	12	TC 2
16	Sin	Vermicomposta	12	TV 2
17	Con	Sin	12	P 2
18	Con	Estiércol	12	PA 2
19	Con	Composta	12	PC 2
20	Con	Vermicomposta	12	PV 2
21	Con + inóculo	Sin	12	Pi2
22	Con + inóculo	Estiércol	12	PiA2
23	Con + inóculo	Composta	12	PiC2
24	Con + inóculo	Vermicomposta	12	PiV2

Los factores considerados fueron:

Tiempo (6 y 12 meses)

Higuera (sin planta, con planta y planta con inóculo)

Enmienda (sin enmienda, estiércol, composta y vermicomposta)

El testigo absoluto, TAB, estuvo constituido por el tepetate tal como se obtuvo en el campo. Este, sirvió como punto de comparación, para evaluar los cambios ocurridos en el tepetate por efecto de los factores probados. Los tratamientos sin planta delimitaron la influencia de cada factor, lo cual permitió analizar de manera individual su efecto.

Las variables de respuesta medidas fueron:

- ❖ Formación de agregados.
- ❖ Estabilidad en húmedo de los agregados.
- ❖ pH, materia orgánica, CIC y bases intercambiables.
- ❖ Carbono orgánico, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y polisacáridos, presentes en el tepetate.
- ❖ Crecimiento en altura y diámetro, número de hojas, área foliar, Biomasa aérea y subterránea y biomasa total.

El análisis de datos que se realizó es un análisis de varianza (ANOVA) para un experimento completamente al azar y una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p=0.01$ ).

### **5.3 Establecimiento del experimento**

El tepetate se recolectó con herramientas comunes (pico y pala), a 8 km del municipio de Tétela del Volcán, Estado de Morelos, en la carretera Tetela del Volcán-Tlacotepec, al sureste del municipio ya que en este sitio se encontraba aflorado. Posteriormente, se trasladó al invernadero del Instituto de Geología de la UNAM, en donde se fragmentó de forma manual y el material resultante se hizo pasar por tamices

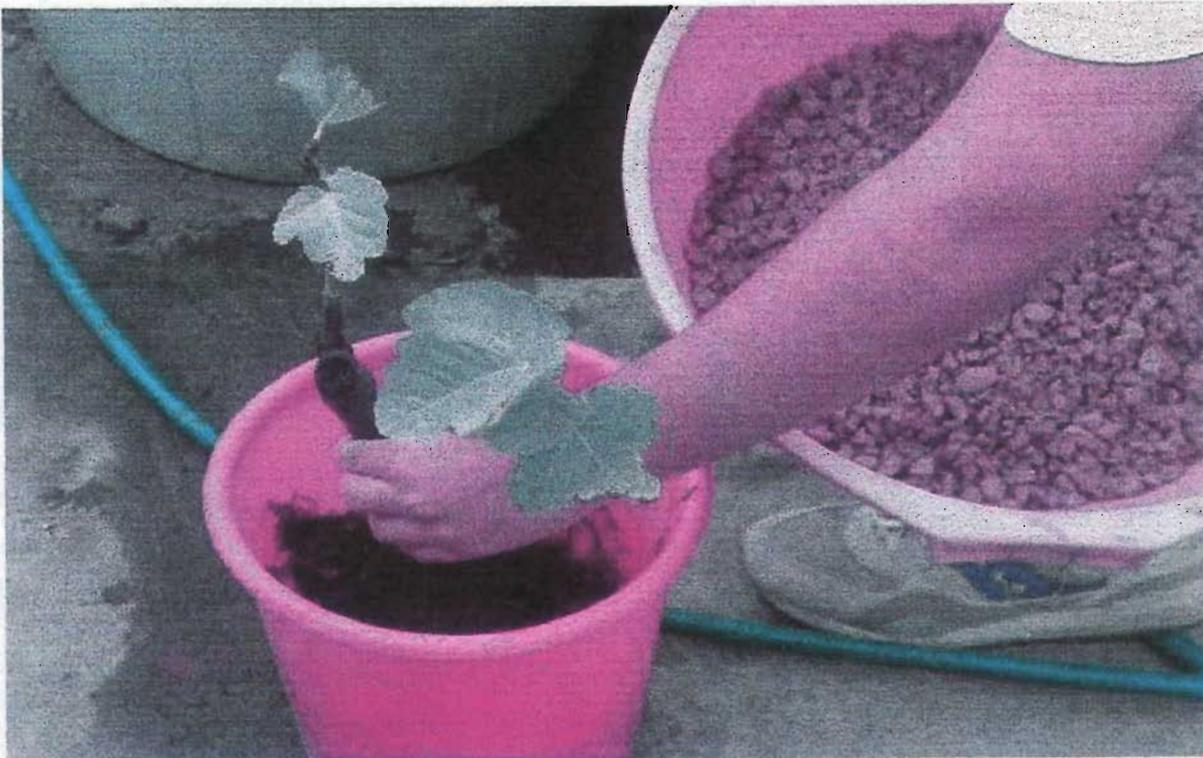
para obtener fragmentos de entre 2.0-10.0 mm. El material fragmentado (5 kg) se colocó en macetas sin perforaciones para evitar pérdidas con capacidad para 6 kg, las cuales fueron rotuladas previamente con la clave referente al tratamiento y repetición.

Las enmiendas, se mezclaron con el tepetate para que se distribuyera homogéneamente antes del transplante. A cada maceta se le agregaron 180 g de estiércol (72 Mg/ha), 100g de composta o vermicomposta (40 Mg/ha), de acuerdo con el tratamiento correspondiente. Las dosis fueron seleccionadas en base a estudios previos y tomando en cuenta que el tepetate carece de materia orgánica y nutrimentos por lo que se necesitan dosis elevadas de enmiendas.

Las higueras de dos años de edad, se obtuvieron en el vivero Yecapixtla, perteneciente a CORENADER del Gobierno del Distrito Federal ubicado en Yecapixtla, Morelos. Previo al transplante, se midió la altura y el diámetro del tallo de las plantas, así como también, se contó el número de hojas y se determinó área foliar total. El transplante se realizó el 16 de diciembre de 2002, lavando completamente la raíz y aplicando el inóculo de micorrizas por planta (20 g) en los tratamientos correspondientes (Figura 2 y 3). El inóculo (*Glomus sp*) fue proporcionado por el Dr. Ronald Ferrera-Cerrato, investigador del Colegio de Posgraduados.

En el invernadero las plantas se regaban dos veces por semana con aproximadamente 400 ml de agua, y los tratamientos testigo 1 vez. La humedad relativa era de 60% y la temperatura oscilaba entre 18 y 24°C. La luminosidad era de 11 horas en invierno y de 13 horas en verano.

A los 6 y 12 meses se cortó la planta, a la cual se le tomaron datos del número de hojas, área foliar, altura, diámetro, peso fresco y peso seco. El material se dejó secar en las macetas por 15 días, después se sacó la raíz y se puso a secar en la estufa para pesarla. Al momento de sacar las raíces se tomó una muestra para cuantificar el porcentaje de colonización de micorrizas. Posteriormente, se tomaron



**Figura 2. Transplante de las higueras a raíz desnuda**



**Figura 3. Aplicación del inóculo al momento del transplante**

muestras de tepetate de cada maceta, para realizar los análisis correspondientes en el laboratorio. Para las pruebas físicas, se tomó aproximadamente 1.5 kg para agregación y 100 g para estabilidad, el material sólo se secó al aire, para dejar los agregados tal y como se obtuvieron de la maceta. En el caso de las muestras para los análisis químicos y bioquímicos, se tomaron 200 g, el tepetate se dejó secar al aire, para posteriormente ser molido y tamizado a 2.0 y 0.25 mm.

Las características físicas y químicas que se evaluaron en el laboratorio, fueron algunas de las utilizadas como indicadores de la calidad del suelo (Astier *et al.*, 2002), los cuales, nos permitieron conocer las condiciones del material.

### 5.3.1 Características Físicas

Las determinaciones físicas se basaron en *Methods of Soil Analysis* (Klute, 1986)

#### Agregación en seco

La agregación del tepetate se evaluó haciendo pasar una muestra de 1500 g de tepetate de cada una de las macetas, a través de una columna de tamices de 0.25, 1.0, 2.0, 5.0 y 10.0 mm. Los tamices se agitaron de forma manual durante 5 minutos, posteriormente, se pesó cada una de las fracciones contenidas en el tamiz para después calcular los porcentajes por fracción del total de la muestra.

#### Estabilidad de los agregados en húmedo

Se pasó una muestra de 100g de tepetate, previamente humedecido en una probeta por aproximadamente 2 minutos, a través de una columna de tamices con aberturas de 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 y 5.0 mm, dentro de un contenedor con agua. La columna se agitó, de forma manual, durante 5 minutos. Las fracciones retenidas en los tamices se colocaron en cápsulas de porcelana para ser secadas a 100°C en la estufa. Una vez secas se pesaron y se calculó el porcentaje de cada fracción respecto al total. La fracción <0.25 mm es la diferencia entre el peso total y la suma de las fracciones.

### 5.3.2 Características químicas

Las determinaciones químicas se realizaron de acuerdo a los procedimientos propuestos por Sparks (1996).

#### pH

Se tomó una muestra de 10 g de tepetate molido y tamizado a 2 mm, de cada una de las macetas, a la que se le agregó 25 ml de agua (relación 1:2.5). Las muestras se agitaron durante 30 minutos con un agitador mecánico, posteriormente se dejó reposar 15 minutos y se midió el pH mediante un potenciómetro (ORION modelo 920 A).

#### Materia orgánica

Fue evaluada por el método de Walkley y Black, el cual tiene como base la oxidación del C con dicromato de potasio mediante el calor generado por la adición de  $H_2SO_4$  concentrado. Se utilizó, 0.5 g de tepetate molido y tamizado en malla 0.10 mm.

#### Capacidad de intercambio catiónico

La determinación se realizó por centrifugación, tomando 1g de tepetate molido y tamizado a 2 mm. Primero se le adicionó 10 ml de CaCl 1N pH 7 para saturar la superficie de intercambio, se centrifugó por 5 minutos a 3000 rpm, se repitió 5 veces. Después se lavó el exceso de CaCl con alcohol etílico 10 ml por muestra, se centrifugó 5 veces por 5 minutos a 3000 rpm. Por último se le agregó 10 ml de NaCl 1N pH 7 para desplazar el catión índice centrifugando a 3000 rpm durante 5 minutos esto se repite 5 veces guardando el sobrenadante. En el extracto se cuantificó el exceso de Na, por titulación con EDTA, y mediante la aplicación de una fórmula permite inferir la capacidad de intercambio.

Bases intercambiables.

Las bases intercambiables se determinaron a partir del extracto obtenido por centrifugación de 1 g de tepetate molido y tamizado a 2 mm, con acetato de amonio 1N pH 7, 5 veces a 3000 rpm durante 5 minutos. El Ca y el Mg se determinaron por titulación del extracto con EDTA. El Na y K por flamometria (CORNING, modelo 400).

### 5.3.3 Características Bioquímicas

Carbono orgánico

El carbono orgánico total de las muestras compuestas, se obtuvo al dividir el porcentaje de materia orgánica, obtenido por el método de Walkey y Black, entre 1.724 que constituye el factor de Van Bemmelen.

Ácidos húmicos y fúlvicos por el método de Dabin (Dabin, 1971)

Se utilizaron entre 30g y 90 g de material molido y pasado a través de una malla 60 según el contenido de carbono, el cual se colocó en matraces de 250 ml y se agregó 150 ml de ácido fosfórico 2M para separar la fracción libre de la materia orgánica. El residuo se lavó varias veces con agua y después se le agregó 100 ml de  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  0.1M posteriormente se agregó 100 ml de NaOH 0.1M y se agitó 30 minutos, la muestra se centrifugó a 3000 rpm durante 20 min. Al extracto (ácidos húmicos + ácidos fúlvicos) se le calcula el carbono orgánico. Se tomó una alícuota del extracto y se precipitó con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  hasta un pH de 1.5 y se dejó reposar toda la noche el precipitado son los ácidos húmicos y el sobrenadante los ácidos fúlvicos, también se toman alícuotas para valorar el carbono.

Polisacáridos totales por el método de ácido fenol-sulfúrico.

Se utilizó una muestra de 2.5 g de tepetate tamizado a 2 mm. Para obtener el hidrolizado, se trataron con ácido sulfúrico al 72% y se colocaron en autoclave durante 60 minutos a 15PSI. Posteriormente se filtraron y se determinó la absorbancia de las muestras a 480 nm, con un espectrofotómetro Pye Unicam en celdas de vidrio igualadas (BACHARA), de 12 x 75 mm, a partir de 1 ml del hidrolizado, al que se agregó

---

fenol al 5% y ácido sulfúrico concentrado. El porcentaje de glucosa se calculó con la fórmula propuesta por Sparks (1996).

#### Porcentaje de colonización por micorrizas

De manera complementaria se cuantificó el porcentaje de colonización de micorrizas por el método de Phillips y Hayman (Ferrera *et al.*, 1993). Se colocaron en una cápsula las raíces de la higuera, las cuales posteriormente se introducen en un vaso de precipitados al que se le agregó KOH al 10% hasta cubrirlas. Se calentó por 10 minutos bajo 10 libras de presión (clareo). Se vació el KOH y se enjuagaron las cápsulas con agua destilada. Posteriormente se agregó H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% hasta cubrirlas durante 3 minutos; pasado este tiempo se enjuagaron con agua destilada (blanqueo). Las raíces se cubrieron con HCl al 10% por 3 minutos, se eliminó el ácido y sin enjuagar se cubrieron con solución colorante (azul tripano) 0.005% en lactogliceról y se calentaron por 10 minutos a 10 libras de presión. El colorante se eliminó y se colocaron las raíces en cubreobjetos para ser observados al microscopio

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 Características Físicas

#### 6.1.1 Formación de Agregados

En la tabla 5 se observa que el factor planta presentó efecto significativo en la formación de agregados de 5-10 mm y 0.25-1 mm de diámetro así como un efecto altamente significativo en la fracción 1-2 mm. Para el caso de las enmiendas, se presentó un efecto altamente significativo en todas las fracciones. El factor tiempo no presentó un efecto sobre ninguna de las fracciones. Por lo que respecta a las interacciones la única que fue significativa fue la interacción planta-enmienda sólo en las fracciones 1-2 mm y 0.25-1 mm lo que destaca que el factor enmienda favorece la formación de los agregados en estas fracciones.

Tabla 5. Análisis de varianza para los factores principales y sus interacciones para la formación de agregados

Agregados	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
>10 mm	0.61	152.45**	2.21	0.19	0.82	0.93	0.49
5-10 mm	4.43*	225.25**	2.24	0.54	0.56	1.13	0.27
2-5 mm	0.1	19.32**	0.32	0.59	1.56	0.49	0.52
1-2 mm	4.88**	94.11**	2.70*	0.80	0.47	1.67	0.30
0.2-1 mm	3.56*	92.33**	2.90*	0.38	0.25	0.50	0.32
<0.25 mm	0.18	189.52**	8.42**	0.71	0.52	0.57	0.94

\*,  $p < 0.05$

\*\* ,  $p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En tabla 6 se observa que inicialmente los fragmentos predominantes fueron los de 5-10 mm y de 2 a 5 mm. El material más fino fue el producto del rompimiento del material al momento de tamizarlo. Se habla de fragmentos debido a que el tepetate es un material endurecido, por lo tanto, los fragmentos son creados al momento de la roturación. A los 6 y 12 meses se observó en todos los tratamientos una disminución de las fracciones dominantes al inicio del estudio, así como un

Tabla 6. porcentaje de agregación inicial, 6 y 12 meses en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	> 10 mm			5 a 10 mm			2 a 5 mm		
	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses
TAB	0.00 f	10.68±1.0b	9.50±6.0b	66.95 a	37.02±6.4d	27.51±8.0f	28.07 a	26.35±4.4a	21.97±5.0b
TA	0.00 f	11.45± 3.7b	12.26±5.3 a	66.95 a	40.78± 9.0d	36.15± 8.2e	28.07 a	24.32± 2.5a	23.78± 6.4a
TC	0.00 f	14.42±4.8b	8.28±5.0c	66.95 a	41.72±9.3d	37.50±14.9d	28.07 a	23.62±6.2b	24.78±9.7a
TV	0.00 f	13.77±4.1a	10.03±4.1b	66.95 a	40.30±9.0d	44.37±27.0d	28.07 a	20.49±4.5b	14.92±7.3c
P	0.00 f	10.83±b1.9	13.03±4.2a	66.95 a	27.15±4.3f	29.69±4.7e	28.07 a	22.06±5.9b	21.83±2.8b
PA	0.00 f	10.87±1.4b	11.84±3.4a	66.95 a	33.15±5.4e	32.09±7.5e	28.07 a	23.86±1.4a	22.10±3.2b
PC	0.00 f	12.95±6.1a	9.40±3.2b	66.95 a	28.30±8.6f	37.33±10.0d	28.07 a	19.79±4.3b	23.40±4.4b
PV	0.00 f	11.10±4.7b	14.76±9.1a	66.95 a	25.66±5.8f	36.62±9.5e	28.07 a	21.68±4.8b	20.99±4.0b
Pi	0.00 f	11.39±2.7b	14.01±5.4a	66.95 a	38.26±9.5d	27.68±2.7f	28.07 a	19.06±3.9c	19.24±1.0c
PiA	0.00 f	9.63±1.7b	13.21±6.6a	66.95 a	29.47±11.8e	28.65±6.1f	28.07 a	22.23±3.8b	20.66±2.5b
PiC	0.00 f	8.71±4.1b	10.57±3.5b	66.95 a	30.66±2.3e	31.15±6.3e	28.07 a	24.34±4.4a	25.36±2.5a
PiV	0.00 f	7.56±3.2d	9.83±2.8b	66.95 a	29.58±8.4e	32.88±5.3e	28.07 a	24.81±2.1a	25.22±4.8a

	1 a 2 mm			0.25 a 1 mm			< 0.25 mm		
	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses
TAB	2.77 e	6.60±1.2c	11.08±4.6a	1.09 d	12.24±1.7c	23.66±12.2a	0.93 g	7.10±0.8b	7.22±0.8b
TA	2.77 e	6.31± 2.4c	6.88± 3.0c	1.09 d	11.75±6.9c	16.40± 14.3b	0.93 g	5.38±1.0d	7.01± 1.0b
TC	2.77 e	5.56±2.4c	7.55±3.6b	1.09 d	8.99±4.0c	16.93±14.4b	0.93 g	5.68±1.6c	6.48±1.6c
TV	2.77 e	6.30±1.8c	6.77±3.7c	1.09 d	12.96±5.2b	18.03±10.0b	0.93 g	6.17±2.3c	4.52±2.3d
P	2.77 e	9.12±1.0a	10.34±3.3a	1.09 d	22.99±7.8a	19.76±6.5a	0.93 g	7.83±1.7b	4.55±1.7d
PA	2.77 e	8.10±1.7b	8.44±2.2b	1.09 d	17.09±5.5b	21.00±10.9a	0.93 g	7.66±1.3b	3.52±1.3e
PC	2.77 e	9.59±3.9a	8.03±2.6b	1.09 d	22.74±10.9a	16.95±9.6b	0.93 g	6.64±0.7c	5.34±0.7d
PV	2.77 e	10.53±3.1a	6.90±3.1c	1.09 d	23.79±9.3a	16.63±9.7b	0.93 g	7.25±0.9b	4.52±0.9d
Pi	2.77 e	7.92±2.9b	10.09±1.3a	1.09 d	16.17±7.2b	24.90±4.5a	0.93 g	7.25±1.7b	4.82±1.7d
PiA	2.77 e	8.70±2.0b	10.53±4.5a	1.09 d	22.40±11.4a	23.49±10.7a	0.93 g	7.74±1.9b	3.38±1.9e
PiC	2.77 e	8.46±1.3b	9.36±1.6a	1.09 d	18.38±5.2b	19.20±7.6a	0.93 g	9.46±0.8a	3.99±0.8e
PiV	2.77 e	9.79±2.4a	8.87±1.6b	1.09 d	19.51±7.4 a	19.81±9.0a	0.93 g	8.74±2.6a	3.64±2.6e

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores indican diferencia significativa entre tiempos y entre tratamientos (p<0.01)

incremento de las fracciones de menor tamaño (<2 mm) debido a la disgregación del material por efecto de los tratamientos. También un incremento en las unidades de mayor tamaño (> 5 mm) el que pudo ser debido a la formación de agregados, pero también posiblemente a la recementación del tepetate.

En los tratamientos testigo (Tabla 6) se puede observar que la fracción >10 mm se incrementó a los 6 meses, respecto a la condición inicial, de manera significativa en todos los tratamientos y, que al año hubo un decremento con todos, excepto en el testigo con estiércol (TA) en comparación con los 6 meses. Por lo que respecta a la fracción de 5-10 mm, se presentó una disminución a los 6 meses con todos los tratamientos y a los 12 meses, sólo con el testigo absoluto (TAB) y testigo con estiércol (TA). En la fracción de 2-5 mm hubo una disminución significativa en ambos tiempos en los tratamientos TAB y testigo con vermicomposta (TV). En el caso de TA, la disminución no fue significativa y el testigo con composta (TC) aumentó al año. Por lo que respecta a las fracciones menores de 2 mm, tuvieron un incremento significativo en todos los tratamientos respecto a las condiciones iniciales.

En los tratamientos testigo, es decir, sin la influencia de la planta, los factores por los cuales se presentó disgregación y agregación del material fueron, principalmente, los ciclos de humedecimiento y secado. Estos ciclos hacen que las partículas se contraigan y se expandan, lo que favorece la disgregación, pero también la agregación del material. Bronick y Lal (2004) mencionaron que cuando hay humedad, las partículas se separan provocando que se rompan o debiliten las uniones entre ellas; conforme decrece la humedad, las partículas se van uniendo o compactando entre sí. Esto se presenta cada vez que el suelo se humedece o se seca, lo que en el tepetate se pudo presentar como resultado de los periodos en los que se regaban las macetas.

Shiel *et al.* (1988), mencionaron que los ciclos de humedecimiento y secado presentan efecto sobre el porcentaje de agregados, ya que los agregados de mayor tamaño disminuyen y se incrementan los de menor tamaño, pero los de intervalos intermedios variarán dependiendo de los tratamientos. Esto sugiere que los agregados

de mayor tamaño se fracturan en unidades de menor tamaño y en material fino. Esto puede observarse en el incremento de las fracciones pequeñas (<2 mm), las cuales no se presentaban al inicio del experimento.

Otro de los factores que pudieron contribuir a la formación de agregados en los tratamientos sin planta, fue la aplicación de materia orgánica por medio de las enmiendas orgánicas (estiércol, composta, vermicomposta), lo cual favorece la unión de las partículas, ya que las sustancias producto de su descomposición constituyen agentes de unión. Pero también la presencia de materia orgánica favorece el crecimiento de los microorganismos. Ferrera *et al.* (1997) mencionaron que las poblaciones microbianas se ven incrementadas por la incorporación de la materia orgánica ya que suministra compuestos energéticos que son utilizados por los microorganismos.

En cuanto a la cantidad de microorganismos en el tepetate, Álvarez *et al.* (1992) encontraron que con solo roturarlo se favorece el crecimiento de los microorganismos. Los cuales se van a incrementar aun más cuando se les adiciona materia orgánica, debido a la disponibilidad de nutrimentos, favoreciendo, al mismo tiempo, la formación de agregados.

Los tratamientos con Higuera, en la fracción >10 mm, favorecieron un aumento significativo en ambos tiempos (Tabla 6), en todos los casos, a excepción de planta con composta (PC), el cual presentó un decremento al año. La fracción de 5-10 mm, a los 6 meses, mostró una disminución estadísticamente significativa con todos los tratamientos, respecto al valor inicial. A los 12 meses, se incrementó dicha fracción con todos los tratamientos de manera significativa respecto a los 6 meses, pero los valores fueron menores que al inicio. La fracción de 2-5 mm disminuyó a los 6 meses, manteniéndose constantes los valores al año. En la fracción de 2-1 mm, los valores a los 6 y 12 meses se mantuvieron sin diferencia, excepto en el caso de PC y Planta con vermicomposta (PV), con los cuales se presentó una disminución significativa. En los fragmentos de 1-0.25 mm se tuvo un incremento significativo entre 6 y 12 meses, con el



Figura 4. Agregados formados después de 12 meses de experimentación.



Figura 5. Comparación entre tratamientos con planta y sin planta.

tratamiento planta estiércol (PA), así como una disminución con PC y planta vermicomposta (PV). Por último en la fracción <0.25 mm se observó un decremento al año, con respecto a los 6 meses, con todos los tratamientos, pero manteniéndose el incremento respecto a la etapa inicial.

Los tratamientos con Higuera, al igual que los testigos, mostraron influencia de los ciclos de humedecimiento y secado, ya que eran regados periódicamente. Como se pudo observar, los cambios en los porcentajes de unidades de diferente tamaño, fueron mayores en los tratamientos con planta, debido a que las raíces tienen un papel importante en la agregación del suelo (Figura 4). Algunos de los mecanismos por los que actúan son por medio de la estructura y distribución de sus raíces, calidad y cantidad del carbono que incorporan al sustrato, el efecto de microclima que producen y su influencia en las comunidades microbianas y su actividad (Rillig *et al.*, 2002).

Las raíces de las plantas y su rizósfera tienen efecto sobre la agregación del suelo, ya que las raíces empaquetan, separan y mueven las partículas, además de que liberan exudados que aumentan la actividad microbiológica, los cuales provocan alteraciones físicas, químicas y biológicas en el suelo, que influyen en la agregación (Bronick y Lal, 2004). La agregación tiende a incrementarse conforme aumenta la densidad de las raíces, debido a que las raíces liberan cantidades abundantes de mucílagos, capaces de actuar como cementantes entre las partículas y a que durante su crecimiento y la absorción de nutrimentos, se generan fuerzas de contracción y expansión sobre el material, el cual se fisura. Posteriormente, las pequeñas grietas son ocupadas por las raíces o por mucílagos, lo que favorece la existencia de microclimas en el suelo (Dorizio *et al.*, 1993).

Oades (1993) y Jastrow y Miller (1998), mencionaron que las raíces, por las condiciones locales que originan debido a la obtención de agua y nutrimentos, así como por la presión que ejercen al crecer, promueven la formación y la disgregación de los agregados. Angers y Caron (1998) mencionaron que el crecimiento de las raíces a través de los poros, provoca la compresión y debilitamiento de las paredes debido a la

presión radial. La compresión por las raíces resulta en la ampliación de los poros existentes y la creación de nuevos, razón por la cual, la penetración de las raíces se asocia con la fragmentación del suelo y la creación de zonas de ruptura. Lo anterior induce la formación de agregados, por lo que las características de las raíces de la planta, influyeron en el porcentaje de agregados del tepetate.

La materia orgánica aportada por las enmiendas, así como los compuestos aportados por la planta, son importantes en la unión de las partículas del suelo, ya que de manera indirecta, sirven como materia energética para el crecimiento, tanto de las plantas, como de los microorganismos. Pero también en forma directa, porque actúan como enlace entre las partículas del suelo.

En el tepetate, el incremento de las unidades de mayor tamaño (>10 mm) pudo deberse a la unión de partículas más pequeñas para formar agregados, así como también, a la recementación del material (Velázquez, 1997). La mayor cantidad de agregados se encontró en el intervalo de 2 a 5 mm, lo cual es favorable para el desarrollo vegetal y el establecimiento de la biota, ya que se trata de un tamaño que permite el adecuado movimiento de agua y aire, favorece el crecimiento radical y facilita la emergencia de las plántulas (Zebrowski, 1992).

Por lo que respecta a los tratamientos de Higuera con inóculo, se observó (Tabla 6) un incremento con todos los tratamientos, en la fracción >10 mm. En la fracción de 5-10 mm se observó una disminución, respecto al tiempo, con todos los tratamientos, excepto planta inóculo composta (PiC) y Planta inóculo vermicomposta (PiV). La fracción de 2-5mm fue la mas estable, manteniendo porcentajes similares a los 6 y 12 meses, las cuales respecto de la condición inicial, presentaron una disminución significativa. En la fracción de 1-2 mm se presentó un incremento significativo en ambas etapas, respecto a la inicial; entre los 6 y 12 meses se observó un aumento significativo con todos los tratamientos, excepto en PiV, con el cual hubo un decremento significativo. Los fragmentos de 0.25-1.0mm se incrementaron de manera significativa respecto de la etapa inicial, con todos los tratamientos y, en los fragmentos <0.25mm,

se observó un incremento con respecto al contenido inicial, pero de los 6 meses al año, el porcentaje disminuyó significativamente, con todos los tratamientos.

En estos tratamientos con planta e inóculo, se pudo presentar tanto el efecto de los ciclos de humedecimiento y secado, como el de las especies vegetales, descrito anteriormente. Aunque es importante destacar, que a dicho efecto, debe sumarse el de los microorganismos, ya que al ser inoculadas las plantas, la biota también ejerce influencia en la formación de agregados.

La rizósfera presenta una gran diversidad y altos niveles de actividad microbiana, inducida por los exudados y el mucílago de las raíces, así como su degradación y las condiciones favorables de aireación y humedad en las cercanías de las raíces (Angers y Caron, 1998). Tisdall (1994) mencionó que los microorganismos favorecen la formación de los agregados del suelo, ya que al competir por espacio y nutrientes, generan un ciclo. Por ejemplo, los hongos micorrízicos forman una extensa red en el suelo, lo cual hace que tengan mayor superficie de contacto, además, las hifas ayudan a empaquetar las partículas del suelo y, a través de procesos metabólicos, transforman los exudados de las raíces, en un mucigel compuesto de polisacáridos, que beneficia la formación de agregados.

El efecto de la actividad microbiana en el tamaño de los agregados y viceversa, depende de numerosos factores. Puede variar con la estación del año; las actividades agrícolas; el manejo, calidad y cantidad de los residuos y el tipo de suelo. Por lo que la formación de agregados, también dependerá de estas características (Bronick y Lal, 2004).

Entre los microorganismos más importantes en la agregación del suelo, están las micorrizas arbusculares, las cuales pueden considerarse de suma importancia por las siguientes razones: las hifas extra radicales representan un componente sustancialmente dominante en la biomasa microbiana, por incorporación de carbono de la planta y por último su aparición por un periodo de tiempo largo en el suelo, lo que

contribuye a la agregación del suelo y en la actualidad se ha encontrado que producen una sustancia llamada glomalina que favorece la agregación (Rillig *et al.*, 2002).

Neergaard y Petersen (2000) mencionaron que el efecto de las micorrizas arbusculares en la agregación puede ser descrito como tres procesos distintos pero simultáneos: 1) el crecimiento de la hifa en una matriz, creando una estructura que enreda a las partículas primarias del suelo, 2) las raíces y las hifas crean condiciones que permiten la formación de microagregados y 3) raíces e hifas enredan y unen microagregados y pequeños macroagregados, en agregados más grandes.

Estos procesos debieron llevarse a cabo simultáneamente en el material de las macetas con inóculo, ya que como se puede observar en la tabla 2 del apéndice, la colonización de los hongos micorrízicos se presentó hasta los 12 meses de experimentación, por lo que en esta etapa se observaron más cambios en cuanto a los porcentajes de agregados, con respecto a la etapa 1, principalmente en las fracciones de menor tamaño (<2mm).

Los resultados de formación de agregados en tepetate roturado concuerdan con los reportados por García (2001) y Velázquez (2003) en los que también se presenta un incremento primero y después una disminución de los fragmentos de mayor tamaño (>10 mm), así como un incremento en los de menor diámetro (<2 mm) producto tanto de la agregación como la disgregación del material a través del tiempo. Así como la proporción de las diferentes fracciones coincide con Izquierdo (2003) en el que se presentó un dominio de las fracciones mayores de 5mm.

### **6.1.2 Estabilidad**

En la Tabla 7, se muestra que la planta tuvo un efecto significativo sólo en la fracción de 3-5 mm, en el caso de las enmiendas, se presentó un efecto altamente significativo sobre todas las fracciones. Lo que indica que al igual que en la formación de agregados las enmiendas tienen un importante efecto sobre la estabilidad.

Tabla 7. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para la estabilidad de los agregados formados.

Agregados	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
> 5mm	0.33	124.79**	0.33	0.54	0.12	0.36	0.25
3-5 mm	3.67*	10.71**	1.69	0.92	0.6	1.29	0.51
2-3 mm	1.5	18.03**	2.61*	0.78	1.06	1.69	1.24
1-2 mm	0.12	92.43**	0.49	0.55	0.49	0.71	0.38
0.5-1 mm	0.55	72.10**	1.54	0.82	0.47	1.27	0.57
0.25-0.5mm	1.03	22.84**	0.28	0.75	0.16	0.94	0.66
<0.25 mm	2.0	96.67**	0.99	0.99	0.58	0.64	0.55

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

La interacción planta enmiendas fue significativa solo en la fracción 2-3mm lo que corrobora que la presencia de la planta y la enmienda favorece la estabilidad de los agregados formados en esa fracción.

A los 6 meses (Tabla 8) se observó que las tendencias en los porcentajes de estabilidad son muy similares a la etapa inicial. Esto debido a que la estabilidad es muy alta por tratarse de fragmentos, en los cuales, las partículas minerales se encuentran consolidadas desde el momento de su depósito, además de la posterior cementación inorgánica de que fueron objeto, a causa de los procesos edáficos (Flores *et al.*, 1996). La fracción dominante fue la mayor de 5 mm. Conforme pasó el tiempo, en la etapa 1 y 2 disminuyó el porcentaje de la fracción >5 mm y se incrementó el de la fracción de menor tamaño (<0.25 mm), debido a que los fragmentos se disgregaron por efecto de los tratamientos, al igual que algunos de los agregados recién formados, por tratarse de unidades más frágiles susceptibles de romperse en partículas de menor tamaño.

Al comparar la agregación (Tabla 6) y estabilidad en húmedo (Tabla 8) en las condiciones iniciales, se puede observar que presentaron porcentajes similares. Esto se debió a que se trata sólo de fragmentos ya que el tepetate al inicio se roturó y esos

fragmentos fueron los que se colocaron en las macetas. Estos fragmentos son muy estables debido a que el tepetate presenta una estructura masiva, resultado de la consolidación original de las partículas, las cuales posteriormente se cementaron a través de procesos edafogénicos y sólo por medios mecánicos es posible fragmentarlo (Flores *et al.*, 1996).

En los tratamientos testigo (Tabla 8) se observó que la fracción dominante fue la >5 mm, en todos los tiempos de análisis, aunque se presentó una disminución significativa con el tiempo, en todos los tratamientos. En la fracción de 3 a 5 mm se obtuvo una disminución de la estabilidad con respecto al tiempo, excepto en el caso del testigo con composta (TC), con el cual, al año, se incrementó de manera significativa la estabilidad; el mayor decremento fue con el tratamiento testigo.

La fracción de 2 a 3 mm se incrementó a los 6 meses de manera significativa, con todos los tratamientos, pero a los 12 meses la disminución fue en todos los tratamientos, a excepción de Testigo con estiércol (TA), con el cual aumentó. En la fracción de 1 a 2 mm, como se puede observar en la Tabla 8, se presentó un incremento significativo con todos los tratamientos a través del tiempo. En las fracciones menores de 1 mm, se observó un incremento significativo con todos los tratamientos, con respecto al tiempo. La fracción que mayor incremento tuvo fue la <0.25 mm.

Los principales factores de unión son la consolidación y cementación que presenta el tepetate, razón por la cual su estabilidad es grande, así como la unión de partículas por efecto de la materia orgánica aplicada. La materia orgánica favorece el crecimiento de microorganismos, los cuales ayudan a unir las partículas del suelo así como su degradación produce compuestos orgánicos que algunas veces son fácilmente degradados, un ejemplo de éstos son los polisacáridos (Tisdall y Oades, 1982)

Tabla 9. Porcentaje de estabilidad inicial, 6 y 12 meses en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	> 5 mm			5 a 3 mm			3 a 5 mm			2 a 1 mm		
	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses
TAB	61.52a	39.34±5.5c	26.57±17.5e	6.74b	5.67±1.7c	3.91±1.0d	9.58d	16.96±1.7a	10.69±1.0c	3.96e	6.88±1.3c	8.13±1.9a
TA	61.52a	42.40±19.6c	34.90±12.0d	6.74b	5.54± 2.2c	6.15± 3.5c	9.58d	15.21±2.2b	19.10± 3.5a	3.96e	6.84±2.8c	7.16±0.9b
TC	61.52a	44.85±9.2b	34.57±7.7d	6.74b	5.04±0.7c	10.75±9.5c	9.58d	14.43±0.7b	11.58±9.5c	3.96e	6.63±1.8c	6.85±1.3c
TV	61.52a	40.65±14.4c	28.22±9.9d	6.74b	4.68±0.8c	5.77±3.2c	9.58d	17.26±0.8a	10.15±3.2c	3.96e	7.45±2.6b	7.61±1.6b
P	61.52a	44.35±12.9bc	26.64±15.6e	6.74b	4.03±1.9d	3.86±1.6d	9.58d	11.25±1.9c	11.34±1.6c	3.96e	6.15±1.8c	7.20±1.5b
PA	61.52a	43.06±7.1c	29.51±10.4d	6.74b	4.44±1.9d	4.39±0.5d	9.58d	13.23±1.9b	12.53±0.5c	3.96e	6.38±0.4c	7.27±1.5b
PC	61.52a	43.83±15.8c	30.03±6.0d	6.74b	3.09±1.0d	4.97±1.4c	9.58d	9.06±1.0d	16.25±1.4a	3.96e	6.03±1.0c	8.15±0.9a
PV	61.52a	33.42±6.9d	32.26±6.2d	6.74b	3.36±0.8d	4.54±1.7c	9.58d	11.92±0.8c	14.32±1.7b	3.96e	7.82±0.9b	7.68±0.3b
Pi	61.52a	41.88±12.5c	25.78±4.7e	6.74b	4.50±1.2c	3.25±0.9d	9.58d	13.36±1.2b	10.34±0.9c	3.96e	6.37±1.7c	7.37±0.6b
PiA	61.52a	39.36±12.8c	27.74±8.3d	6.74b	3.79±1.8d	2.95±0.9d	9.58d	11.81±1.8c	12.25±0.9c	3.96e	6.71±1.2c	7.51±0.8b
PiC	61.52a	45.54±10.8b	25.73±13.4e	6.74b	5.02±1.3c	4.72±1.2c	9.58d	12.69±1.3c	16.64±1.2a	3.96e	6.40±1.0c	9.29±1.3a
PiV	61.52a	40.58±14.2c	24.81±1.9e	6.74b	5.05±0.2c	4.53±1.0c	9.58d	14.73±0.2b	15.85±1.0b	3.96e	6.83±0.8c	7.85±1.9b

	1 a 0.5mm			0.25 a 0.5 mm			< 0.25 mm		
	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses	Inicial	6 meses	12 meses
TAB	4.11d	7.53±1.4c	13.64±5.6a	3.32c	3.78±0.8c	8.45±4.4a	9.81e	19.84±4.8c	27.62±0.8a
TA	4.11d	8.16± 4.3c	8.31± 4.4c	3.32c	5.07±4.0c	4.86± 3.7c	9.81e	16.52±5.7d	19.52± 1.0c
TC	4.11d	7.96±2.7c	8.95±1.2b	3.32c	4.39±1.2c	5.11±0.9c	9.81e	16.69±3.2d	22.19±1.6c
TV	4.11d	8.87±3.4c	12.67±3.8a	3.32c	3.94±1.5c	7.49±2.3b	9.81e	17.39±5.6c	28.09±2.3a
P	4.11d	8.62±4.3a	12.01±3.7a	3.32c	4.72±2.3c	8.73±3.7a	9.81e	18.38±8.0c	30.21±1.7a
PA	4.11d	8.67±3.4b	11.29±3.2a	3.32c	4.96±2.5c	10.06±5.0a	9.81e	19.37±5.9c	24.94±1.3b
PC	4.11d	9.77±4.6a	9.68±3.5b	3.32c	5.61±3.3b	5.27±2.4b	9.81e	22.65±9.7b	25.63±0.7b
PV	4.11d	11.99±3.3a	10.72±1.2b	3.32c	6.75±1.0b	6.36±1.2b	9.81e	24.74±4.3b	24.12±0.9b
Pi	4.11d	7.78±2.5b	12.29±2.4a	3.32c	4.47±1.9c	8.76±4.0a	9.81e	21.63±4.5c	32.20±1.7a
PiA	4.11d	11.06±2.9b	11.03±2.7b	3.32c	6.93±3.3b	7.22±2.4b	9.81e	20.32±9.6c	31.29±1.9a
PiC	4.11d	8.21±3.4b	11.23±3.5b	3.32c	4.09±1.8c	6.74±3.6b	9.81e	18.04±6.7c	25.64±0.8b
PiV	4.11d	8.57±3.0a	11.85±2.1a	3.32c	4.92±2.7c	7.80±3.2a	9.81e	19.33±8.5c	26.56±2.6b

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores indican diferencia significativa entre tiempos y entre tratamientos ( $p < 0.01$ ).

La aplicación de materia orgánica por medio de las enmiendas, incrementa la estabilidad de los agregados debido a que une a las partículas por medio de enlaces órgano-minerales, pero también ayuda a mitigar el efecto de los ciclos de humedecimiento y secado. La materia orgánica, al ser degradada, produce compuestos (polisacáridos) que recubren a los agregados, impidiendo la entrada del agua y la salida de aire de los poros, evitando el rompimiento del agregado e incrementando la estabilidad (Bohn *et al.*, 1996).

En los tratamientos con higuera, al igual que en los testigos, la fracción dominante fue la >5mm. La fracción de 3-5 mm presentó un decremento a los 6 meses, respecto a la condición inicial, pero a los 12 meses, el tratamiento planta sin enmiendas (P) provocó una disminución y el de planta con composta (PC) y planta con vermicomposta (PV), un incremento. La fracción de 2 a 3 mm aumentó a través del tiempo, siendo significativo el incremento, en todos los tratamientos, excepto con P, con el que sólo se presentaron diferencias a los 6 meses. En los agregados de 1-2 mm la estabilidad se incrementó con el paso del tiempo, de manera significativa, con todos los tratamientos. Por lo que se refiere a las fracciones menores de 1 mm, la estabilidad se incrementó con todos los tratamientos, en las dos etapas de observación, de manera significativa (Tabla 8).

En los tratamientos con higuera, posiblemente ocurre la participación de enlaces transitorios, resultado de la transformación de los compuestos orgánicos, enlaces temporales formados por las raíces, así mismo los exudados ayudan a unir los agregados. Tisdall y Oades (1992) mencionaron que el efecto mecánico de las raíces es temporal, debido a que su duración en el medio, es sólo de semanas o meses, aunque aportan una mayor estabilidad que los agentes transitorios. Ambos se encontraron presentes en estos tratamientos.

La materia orgánica influye en la estabilidad de los agregados, debido a que por sus características hidrófobas reduce el efecto del humedecimiento y la formación de algunas asociaciones entre partículas durante el secado (Denef *et al.*, 2001)

En los tratamientos que presentaron planta más inóculo (Tabla 8), la fracción dominante fue la >5 mm, en la cual, se observó un decremento con el paso del tiempo y en la fracción de 3-5 mm una disminución de la estabilidad, a través del tiempo con planta inóculo (Pi) y planta inóculo y estiércol (PiA). La estabilidad de los agregados de 2-3 mm se incrementó de manera significativa con todos los tratamientos, a los 6 meses. Al año, con el tratamiento Pi la estabilidad disminuyó significativamente, con los otros tratamientos la estabilidad se incrementó siendo significativo en el caso de planta inóculo y composta (PiC) y planta inóculo y vermicomposta (PiV). En la fracción de 1 a 2 mm el incremento fue significativo con todos los tratamientos, con respecto al tiempo. En la fracción de 0.5 a 1 mm se presentó un incremento significativo con todos los tratamientos, con el tiempo, excepto con PiA, con el que no hubo diferencia entre los 6 y 12 meses. Las fracciones menores de 0.5 mm presentaron un incremento significativo de estabilidad, con el tiempo.

La estabilidad dada por el efecto de los microorganismos es transitoria ya que las sustancias que liberan al medio hacen que se unan las partículas del suelo, pero son fácilmente degradadas y las uniones duran poco tiempo. Las hifas de los hongos incrementan la superficie de contacto de las raíces, por lo que es mayor la cantidad de suelo susceptible de modificar; pueden unir las partículas del suelo por empaquetamiento mecánico, y cuando mueren, al degradarse, aportan sustancias que ayudan a que la unión sea mas fuerte.

Jastrow y Miller (1998) mencionaron que el efecto de las hifas y de las raíces es importante en la estabilidad de los agregados, debido a que como ya se mencionó, son agentes temporales y pueden conceptualizarse como un “saco pegajoso” que físicamente enreda o envuelve pequeños agregados o partículas, creando así macroagregados estables. También, los mucílagos extracelulares contenidos en la superficie de las raíces e hifas, pueden unir fuertemente materiales inorgánicos incrementando de esta manera a la estabilidad.

De manera general se puede decir que los macroagregados (>250  $\mu\text{m}$ ) son estabilizados por un efecto de empaquetamiento, debido a las raíces y las hifas, particularmente de las micorrizas vesículo arbusculares. Estos agentes son clasificados como agentes de unión temporales, pero también se encuentran asociados con los polisacáridos, los cuales son agentes de unión transitorios. Los microagregados (<250  $\mu\text{m}$ ) son estabilizados por agentes de unión orgánicos y órgano-minerales más persistentes, incluidos: restos de plantas y hongos, materiales húmicos y materia orgánica amorfa originada por las raíces, hongos y bacterias (Féller *et al.*, 1996)

Con el paso del tiempo se observó una disminución de la estabilidad en las fracciones de tepetate de mayor tamaño, lo que sugiere la formación de agregados. Los agregados son menos estables que los fragmentos, ya que presentan agentes de unión transitorios y temporales, provocan una baja estabilidad. Al romperse los macroagregados en fracciones de menor tamaño, se presenta un incremento de microagregados, ya que son más estables, debido a las uniones persistentes.

En cuanto a la estabilidad de los agregados en trabajos anteriores (García, 2001; Velázquez, 2001; Velázquez, 2003; Izquierdo 2004) con tepetates de la misma zona, se encontró que la estabilidad a través del tiempo disminuía lo cual demuestra la formación de agregados. Debido a que como se mencionó anteriormente los agregados son menos estables que los fragmentos, así como que los agregados más estables se encuentran entre los 2 a 5 mm de diámetro, lo cual es favorable para el desarrollo de las especies vegetales.

## 6.2 Características químicas del Tepetate

### 6.2.1 pH en agua

En la Tabla 9 muestra que los tres factores (planta, enmiendas y tiempo) presentan un efecto significativo sobre el pH del tepetate. La interacción del tiempo con la enmienda fue significativa, lo que indica que con el paso del tiempo la enmienda tiene un mayor influencia en el pH que la planta.

Tabla 9. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones en el pH en agua

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>pH agua</b>	4.25*	102.18**	1.54	10.57**	0.22	2.88*	0.51

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la Tabla 10 se puede observar que los valores de pH inicial eran ligeramente ácidos (6.7), lo que coincide con lo reportado por Etchevers (1997), quien mencionó que los tepetates presentan valores de pH entre neutros, muy ligeramente ácidos y muy ligeramente alcalinos. Así como los reportados para la zona que varían entre 6.5 y 7.1 (Díaz, 2001; García, 2001 y Velázquez, 1997 y 2001). A los 6 meses se presentó un incremento hacia la neutralidad y a los 12 meses, se observó una disminución hacia valores entre 6.2-6.8, los cuales fueron menores al valor inicial, excepto con los tratamientos que presentaron inóculo y enmienda. En ambos tiempos se obtuvo un incremento con todos los tratamientos, respecto el Testigo absoluto (TAB).

Tabla 10. Valores de pH en agua relación 1:2.5 en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	Condición inicial	6 meses	12 meses
<b>TAB</b>	6.7 d	6.9±0.2 c	6.2 ±0.3f
<b>TA</b>	6.7 d	7.1±0.4 b	6.6 ±0.4e
<b>TC</b>	6.7 d	7.1 ±0.1b	6.6 ±0.4e
<b>TV</b>	6.7 d	7.3 ±0.3a	6.6 ±0.3e
<b>P</b>	6.7 d	6.8 ±0.3cd	6.5 ±0.2e
<b>PA</b>	6.7 d	7.3 ±0.1a	6.8 ±0.2d
<b>PC</b>	6.7 d	7.2 ±0.1a	6.5 ±0.1f
<b>PV</b>	6.7 d	7.3 ±0.1a	6.8 ±0.3d
<b>Pi</b>	6.7 d	7.0 ±0.2c	6.5 ±0.2f
<b>PiA</b>	6.7 d	7.4 ±0.1a	6.8 ±0.3d
<b>PiC</b>	6.7 d	7.2 ±0.1ab	6.8 ±0.2d
<b>PiV</b>	6.7 d	7.4 ±0.1a	6.8 ±0.2d

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

A los 6 meses se observó un incremento significativo del pH respecto a los valores iniciales, con todos los tratamientos, con valores entre 6.8 y 7.4. Los valores más altos se alcanzaron con los tratamientos con vermicomposta. Los tratamientos que presentaron enmiendas obtuvieron valores estadísticamente más altos que aquellos que no tuvieron (Tabla 10). El tratamiento testigo absoluto, así como el de planta sola y planta más inóculo, fueron los que presentaron los valores más bajos.

Como se puede observar, las enmiendas favorecieron el incremento del pH del tepetate de ligeramente ácidos a ligeramente básicos, sin que el cambio fuera muy alto, ya que funcionan como un amortiguador (Capistran *et al.*, 1999). El aumento pudo ser debido a que las enmiendas utilizadas presentan en su composición algunas bases, las cuales pudieron ser liberadas al sustrato paulatinamente, propiciando valores de pH que tienden a la neutralidad (Tabla 1 del apéndice). También, Pinton *et al.* (2001) mencionaron que las especies vegetales, como en el caso la higuera, favorecen el incremento del pH al liberar a la rizósfera, compuestos orgánicos, iones y gases producidos por la raíz. Además, el incremento de la densidad de raíces en las condiciones de confinamiento que presentaban las macetas, limitó la lixiviación,

favoreciendo la acumulación de cationes (Velázquez, 2002) lo que pudo provocar que el pH tendiera a alcalinizarse.

A los 12 meses, se presentó una disminución significativa del pH en todos los tratamientos, respecto de las etapas anteriores, con valores ligeramente ácidos. Se observó un incremento del pH con todos los tratamientos, respecto del testigo absoluto. Este incremento fue significativo en todos los casos y el valor más alto lo presentaron los tratamientos planta con estiércol, planta con vermicomposta y la planta con inóculo y enmienda, con los cuales, el valor de pH fue cercano a la neutralidad (Tabla 10).

La disminución del pH respecto a las etapas anteriores, pudo ser debida a que las plantas liberan al medio algunos exudados y  $\text{CO}_2$  que al disolverse en agua provoca que el medio se acidifique, como resultado de la formación de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , lo que provoca que el pH disminuya (Ortega, 1981). Por otra parte, la materia orgánica aportada al tepetate por medio de las enmiendas, al descomponerse favorece la formación de ácidos orgánicos (Wild, 1992; Troeh y Thompson, 1993). Otro de los factores que posiblemente favorezcan la alcalinización del medio es la presencia de los microorganismos los cuales por su respiración liberan  $\text{CO}_2$  al medio, que como ya se mencionó ayuda al intemperismo del material, en la tabla 2 del apéndice se puede observar que hay mayor cantidad de hongos micorrízicos al año, lo cual ocurre posiblemente con los demás microorganismos, lo que favorecería la disminución del pH en esa etapa del estudio.

De manera general, el pH varió de ligeramente ácido a ligeramente alcalino, esto concuerda con otros trabajos realizados con tepetate de la zona en los que se ha encontrado que el pH del suelo es cercano a neutralidad (Díaz, 2001; Velázquez *et al.*, 2001; Izquierdo, 2004).

## 6.2.2 Materia orgánica

En la Tabla 11 se muestra un efecto significativo por efecto de las enmiendas y por el factor tiempo. La interacción enmienda-tiempo fue significativa, lo que corrobora el efecto tanto de la enmienda y el tiempo, ya que con el paso del tiempo la materia orgánica disminuyó. El efecto de la planta en el contenido de materia orgánica del tepetate durante el experimento no es significativo.

Tabla 11. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el contenido de materia orgánica.

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
<b>M. O.</b>	0.40	48.66**	1.52	11.99**	1.1	4.23**	1.55

\*,  $p < 0.05$

\*\* ,  $p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la Tabla 12 se observa, de manera general, que hubo un incremento en el porcentaje de materia orgánica a los 6 y 12 meses, respecto al valor inicial, cuando se aplicó alguna de las enmiendas. Este incremento fue debido al aporte de la materia orgánica (estiércol, composta y vermicomposta), así como a la presencia de la higuera (*Ficus carica* L.), la cual también debió aportar compuestos orgánicos al tepetate.

A los 6 meses (Tabla 12), se presentó un incremento significativo de materia orgánica, con todos los tratamientos, respecto del testigo absoluto. Los tratamientos con enmiendas presentaron valores significativamente más altos que los tratamientos sin enmiendas, ya que las enmiendas son una fuente importante de materia orgánica, la cual se encuentra en diferentes proporciones en cada una de ellas (Tabla 1 del apéndice). Los porcentajes más altos se presentaron con los tratamientos testigo con estiércol (TA), testigo con vermicomposta (TV), planta con estiércol (PA), planta con composta (PC), planta inóculo y composta (PiC) y planta inóculo y vermicomposta (PiV) (Tabla 12).

Tabla 12. Porcentaje de materia orgánica en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	Condición inicial	6 meses	12 meses
<b>TAB</b>	0.13d	0.21±0.1 d	0.11 ±0.1d
<b>TA</b>	0.13d	0.66±0.6 a	0.48 ±0.3b
<b>TC</b>	0.13d	0.30±0.1c	0.57 ±0.3a
<b>TV</b>	0.13 d	0.57 ±0.2a	0.22 ±0.1d
<b>P</b>	0.13 d	0.29 ±0.1 c	0.13 ±0.1d
<b>PA</b>	0.13 d	0.68 ±0.2a	0.44 ±0.1b
<b>PC</b>	0.13 d	0.71 ±0.2a	0.49 ±0.2b
<b>PV</b>	0.13 d	0.49 ±0.1b	0.25 ±0.1d
<b>Pi</b>	0.13 d	0.19 ±0.1d	0.32 ±0.3c
<b>PiA</b>	0.13 d	0.30 ±0.2c	0.51±0.1b
<b>PiC</b>	0.13 d	70.66±0.2a	0.51±0.1d
<b>PiV</b>	0.13 d	0.57 ±0.2a	0.34 ±0.2c

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

Wild y Jones (1992) mencionaron que el estiércol es una fuente de nutrientes necesarios para la planta y que su uso frecuente incrementa el contenido de carbono, ya que conforme la materia orgánica se mineraliza, se liberan paulatinamente los diferentes elementos (C, N, K entre otros nutrientes). Trinidad (1999) mencionó que la composta y vermicomposta aportan materia orgánica al suelo como resultado de su descomposición, la cual se lleva a cabo en forma lenta y secuencial, por lo tanto el aporte de nutrientes es por mayor tiempo.

En el caso de los tratamientos con planta, no sólo las enmiendas favorecieron el incremento de materia orgánica, sino que también posiblemente la planta aportó compuestos orgánicos, debido a que el sistema radical libera mucilagos al medio, que incrementan el carbono (Pinton *et al.*, 2001). Por otra parte, los microorganismos que se encuentran en la rizósfera, al morir, se degradan y el carbono se incorpora al suelo. Zebrowski (1992) mencionó que con sólo roturar el material, se incrementan favorablemente las condiciones para el desarrollo tanto de las plantas como de los microorganismos, los cuales provocan que se incorporen compuestos orgánicos al

tepetate, incrementando de esta manera, el contenido de materia orgánica y la actividad microbiana.

Al año, se observó (Tabla 12) un decremento significativo en el porcentaje de materia orgánica, respecto a 6 meses atrás, excepto con testigo con composta (TC), planta inóculo (Pi) y planta inóculo estiércol (PiA), con los cuales se obtuvo un incremento significativo. Los tratamientos con enmiendas presentaron los valores más altos. La cantidad de materia orgánica se incrementó significativamente con todos los tratamientos, excepto con testigo vermicomposta (TV), planta sin enmienda (P) y planta vermicomposta (PV), respecto al testigo absoluto (Tabla 12).

Al año se observó una disminución de materia orgánica, a través del tiempo, en el caso de los tratamientos sin planta. El aporte de materia orgánica fue sólo a través de las enmiendas, pero se llevó a cabo un consumo de esta materia, por la biota, ya que la roturación y el aporte de nutrientes favorecen el incremento de microorganismos en el tepetate. Ferrera-Cerrato (1992), mencionó que con sólo roturar el tepetate, se incrementa el número de microorganismos de manera significativa y, al aplicar materia orgánica, la cantidad de microorganismos aumenta aún más, lo cual, además de favorecer la habilitación del tepetate, se refleja en el contenido de materia orgánica del mismo.

En los tratamientos con planta, la disminución de materia orgánica pudo ser debida, a que las plantas y los microorganismos descomponen dicha materia para la obtención de energía, ya que al ser degradada, libera los nutrientes necesarios. Trinidad (1999), mencionó que los microorganismos transforman los residuos orgánicos del suelo hasta su humificación, con lo que se libera agua y elementos; mineralizan el humus; transforman elementos esenciales no aprovechables a formas aprovechables para la planta: pero al mismo tiempo, los organismos utilizan como energía el C fijado, de tal manera que existe una relación entre el contenido de carbono, la disponibilidad de nutrientes y la población microbiana.

La higuera no sólo disminuye el contenido de materia orgánica del sustrato al consumirla, sino que también lo incrementa, ya que sus raíces liberan mucílagos a la rizósfera. Esto favorece el crecimiento de microorganismos, al igual que el desarrollo de un mayor número de raíces, que permiten que el área de contacto con el sustrato sea mayor y, al morir, se incorporen al mismo (Pinton *et al.*, 2001).

Después de un año la cantidad de materia orgánica fue menor, debido posiblemente a que el consumo por parte de la planta y los microorganismos se incrementó con el paso del tiempo y la dosis de estiércol, composta y vermicomposta fue única y al inicio del experimento por lo que no se tiene un aporte constante de enmiendas, las cuales con el tiempo van siendo transformadas y utilizados los compuestos por la planta y los microorganismos.

### 6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico

En la Tabla 15 se observa un efecto significativo por los tres factores: la planta, las enmiendas y el tiempo; así como la interacción planta-enmienda y enmienda-tiempo fueron significativas para la CIC del tepetate, lo que confirma que la aplicación de enmiendas y el paso del tiempo favorecen la CIC.

Tabla 15. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para la capacidad de intercambio catiónico

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
CIC	4.91**	25.79**	4.83**	3.89*	0.73	2.22	0.74

\*,  $p < 0.05$   
 \*\*,  $p < 0.01$

A: Planta  
 B: Enmienda  
 C: Tiempo

En la Tabla 16 se observa, de manera general, un incremento de la CIC a los 6 y 12 meses, con respecto a los valores iniciales, a excepción del tratamiento que tiene la planta sola. El mayor incremento se presentó en los tratamientos sin planta.

Tabla 16. Capacidad de intercambio catiónico (cmol+kg<sup>-1</sup>) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	Condición inicial	6 meses	12 meses
<b>TAB</b>	14.88 d	20.00±6.1a	16.75±2.2c
<b>TA</b>	14.88 d	20.25±2.2a	19.00±2.8b
<b>TC</b>	14.88 d	18.75±1.8c	19.63±3.5b
<b>TV</b>	14.88 d	21.75±3.0a	17.00±2.4c
<b>P</b>	14.88 d	14.75±2.2d	14.63±1.3e
<b>PA</b>	14.88 d	17.63±1.8c	18.38±2.9c
<b>PC</b>	14.88 d	16.88±1.4c	19.50±4.1b
<b>PV</b>	14.88 d	15.50±2.0d	19.50±4.6b
<b>Pi</b>	14.88 d	14.88±3.2d	15.75±2.5d
<b>PiA</b>	14.88 d	17.00±2.0c	17.13±3.0c
<b>PiC</b>	14.88 d	15.25±1.0d	19.75±1.7b
<b>PiV</b>	14.88 d	18.50±2.0c	20.00±0.0a

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

A los 6 meses, la CIC disminuyó con la presencia de la planta en comparación con los demás tratamientos. Esta disminución fue significativa (Tabla 14) con todos los tratamientos, respecto a los tratamientos testigo. Los valores más bajos se presentaron con los tratamientos sin enmiendas, con planta sin enmienda (P) y planta con inóculo (Pi), así como también con PV y PiC. En cuanto a los testigos, el valor más bajo se presentó con testigo con composta (TC) y el más alto con testigo con vermicomposta (TV).

La disminución de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el tepetate, puede ser atribuida a fenómenos de microagregación, ya que las partículas de menor tamaño se unen y por lo tanto se presenta una menor superficie de reacción, lo cual contribuye a la disminución de la CIC (Acevedo y Flores, 2000). La presencia de la planta y la materia orgánica, favorece la disminución de la superficie de reacción, al favorecer la formación de agregados. En los tratamientos sin enmiendas, la disminución pudo ser mayor, debido a que la materia orgánica incrementa la capacidad de intercambio por su gran número de sitios activos (Miller and Gardiner, 1998). Por otra parte, también se pudo presentar recementación del material (Velázquez, 1997), debida

a la ausencia de materia orgánica, por lo que las partículas se unieron y disminuyeron la superficie de reacción.

A los 12 meses, los valores más altos de CIC, se presentaron con los tratamientos con enmiendas, diferencias que fueron estadísticamente significativas, respecto a los tratamientos sin enmienda. También se presentó un incremento de CIC con los tratamientos con planta, pero un decremento con los testigos, respecto a 6 meses atrás. A los tratamientos testigo, testigo con estiércol y testigo con composta correspondieron los valores más altos. Por lo que respecta a los tratamientos con planta, se presentaron los valores más altos con PC y PV y en cuanto a las plantas con inóculo se presentó un incremento significativo con PiV. Respecto a la etapa 0 se presentó un incremento en todos los tratamientos excepto en planta sola y planta con inóculo (Tabla 14).

El incremento en la CIC pudo deberse a que al paso del tiempo, los fenómenos de disgregación del material, provocaron que se presentara una mayor superficie de reacción, al igual que la materia orgánica que se encuentra presente ayudó a que se incremente la CIC. En el experimento al comparar el contenido de materia orgánica y la CIC muestra que en ambos casos los valores más altos se encuentran en los tratamientos con enmiendas. En los tratamientos con planta, hubo una disminución de la CIC, ya que se forman agregados de mayor tamaño, debido al crecimiento de las raíces y por lo tanto favorecen el empaquetamiento, lo cual disminuye la superficie de reacción y por lo tanto, los sitios de intercambio disminuyen (Fasbender y Bornemisza, 1987; Miller y Gardiner, 1998).

### 6.2.4 Bases intercambiables

#### Calcio

En la Tabla 15 se muestra que las enmiendas y el tiempo presentaron un efecto significativo en la cantidad de calcio del tepetate, así como que la interacción enmienda-planta y enmienda-tiempo fueron significativas, esto resalta el efecto de las enmiendas en combinación con los otros factores.

Tabla 15. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el contenido de calcio intercambiable

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Ca</b>	2.67	140.66**	3.58**	7.49**	0.84	2.64*	1.31

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

De manera general, en la tabla 16 se observa un incremento de Calcio a los 6 y 12 meses, respecto a la cantidad inicial de calcio del tepetate. Se puede observar que con los tratamientos testigo, a los 6 meses, se presentan los valores más altos, pero fue al año, cuando obtuvieron los valores más altos en los tratamientos con planta.

Luego de 6 meses se observó una disminución del Ca intercambiable con todos los tratamientos, respecto al testigo absoluto, excepto en el caso de testigo con vermicomposta, con el cual se presentó un incremento. La disminución en la etapa 1 fue significativa con todos los tratamientos, excepto con TV, con el cual se incrementó significativamente respecto al testigo absoluto. Con los tratamientos con planta, se observó que sólo con la planta, planta-inóculo y planta-inóculo-composta, la disminución fue aún mayor (Tabla 16).

Tabla 16. Calcio intercambiable en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>Condición inicial</b>	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>TAB</b>	6.63g	15.54±1.1b	11.07±3.0d
<b>TA</b>	6.63g	13.89±2.7c	13.36±2.5c
<b>TC</b>	6.63g	13.06±1.1c	13.90±3.5c
<b>TV</b>	6.63g	18.29±2.4a	12.69±2.7d
<b>P</b>	6.63g	10.04±2.1e	10.93±0.7e
<b>PA</b>	6.63g	12.65±2.3d	11.61±2.5d
<b>PC</b>	6.63g	12.51±1.9d	14.71±2.8b
<b>PV</b>	6.63g	12.93±2.9c	14.98±1.3b
<b>Pi</b>	6.63g	10.72±1.7e	10.66±1.1e
<b>PiA</b>	6.63g	12.79±2.4c	11.61±0.5d
<b>PiC</b>	6.63g	11.96±1.7d	12.69±1.4d
<b>PiV</b>	6.63g	14.57±1.5b	17.01±2.2a

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

A los 12 meses se observó que la tendencia en el contenido de Ca fue a incrementarse por presencia de las enmiendas, tanto en el caso de los testigos, como en los tratamientos con planta. Cuando no se aplicaron enmiendas, los valores, tanto del testigo, como de las plantas, fueron similares. El incremento con todos los tratamientos con enmiendas fue estadísticamente significativo con respecto al testigo absoluto, excepto con Testigo con vermicomposta, Planta con estiércol, Planta inóculo y composta y Planta inóculo donde disminuyó (Tabla 16).

## Magnesio

En la Tabla 17 se observa que la cantidad de magnesio no estuvo influenciada por ninguno de los factores de estudio.

Tabla 17. Análisis de varianza (valores F) para los factores principales y sus interacciones para magnesio intercambiable

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Mg</b>	1.83	0.03	0.70	0.31	0.67	0.17	0.63

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la Tabla 18 se observa, que de manera general, hubo una disminución del contenido de magnesio con los tratamientos que presentaron planta, con respecto a la etapa inicial. En los tratamientos testigo se presentó un incremento de magnesio excepto en TC a los 6 meses y al año en TV

Tabla 18. Magnesio intercambiable (cmol+kg<sup>-1</sup>) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>Condición inicial</b>	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>TAB</b>	5.00b	5.84±3.7c	5.71±3.0a
<b>TA</b>	5.00b	5.11±1.6b	6.60±2.7a
<b>TC</b>	5.00b	4.94±0.8b	5.26 ±3.1a
<b>TV</b>	5.00b	5.84±1.0a	4.58±1.9b
<b>P</b>	5.00b	4.21±c1.0d	3.91±1.9b
<b>PA</b>	5.00b	6.35±0.6a	5.30±1.4a
<b>PC</b>	5.00b	5.24±2.7a	4.03±3.3b
<b>PV</b>	5.00b	4.82±1.4a	5.23±2.5a
<b>Pi</b>	5.00b	4.90±1.5c	3.79±1.2b
<b>PiA</b>	5.00b	3.96±1.5a	3.70±1.2b
<b>PiC</b>	5.00b	3.76±a0.5b	5.07±2.4b
<b>PiV</b>	5.00b	4.55±2.6a	5.77±2.1a

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos (p<0.01)

A los 6 meses los tratamientos testigo presentaron valores estadísticamente equivalentes a excepción de TC, con el cual se obtuvo un valor más bajo. En los tratamientos que presentaron planta, los valores de magnesio fueron más bajos que los de los testigos, a excepción de PA y PC, con los cuales, los valores fueron estadísticamente equivalentes (Tabla 18).

Por lo que respecta a los 12 meses, los tratamientos testigo presentaron los valores más altos de magnesio, excepto TV. Los tratamientos con planta presentaron una disminución respecto al testigo absoluto excepto en PA, PV y PiV que tuvieron valores estadísticamente equivalentes al testigo.

### Sodio

Como se observa en la Tabla 19, el contenido de sodio se modificó en forma significativa, por influencia de las enmiendas.

Tabla 19. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el contenido de sodio intercambiable

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Na</b>	0.70	43.21**	1.34	0.27	0.78	0.25	0.98

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

De manera general, se presentó (Tabla 20) un incremento respecto al contenido inicial de Na, tanto a los 6 como a los 12 meses, presentándose el mayor contenido a los 6 meses, con los tratamientos testigo y planta sola.

El incremento de Na a los 6 meses, fue significativo con respecto a la etapa inicial. Con los tratamientos testigo con estiércol, testigo con vermicomposta, planta sin enmienda, planta con estiércol y planta con composta, el contenido de sodio fue significativamente mayor, respecto al testigo absoluto. Los tratamientos con inóculo

presentaron valores de Na estadísticamente similares a los del testigo absoluto (Tabla 20).

Tabla 20. Sodio intercambiable(cmol+kg-) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>Condición inicial</b>	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>TAB</b>	0.11e	1.05±0.5c	1.00±0.3c
<b>TA</b>	0.11e	1.77±1.1b	1.45±0.6b
<b>TC</b>	0.11e	1.28±0.7c	1.26±0.2c
<b>TV</b>	0.11e	2.61±3.1a	1.09±0.2c
<b>P</b>	0.11e	2.04±2.0a	0.86±0.0c
<b>PA</b>	0.11e	1.42±0.6b	0.90±0.1c
<b>PC</b>	0.11e	1.56±1.1b	1.31±0.2c
<b>PV</b>	0.11e	0.93±0.4c	1.19±0.3c
<b>Pi</b>	0.11e	1.06±0.5c	1.07±0.3c
<b>PiA</b>	0.11e	1.18±0.5c	1.21±0.1c
<b>PiC</b>	0.11e	0.96±0.5c	1.30±0.2c
<b>PiV</b>	0.11e	1.05±0.5c	1.58±0.2b

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

Luego de 1 año, se observó un decremento del Na en los tratamientos testigo y con planta. La disminución de sodio fue significativa con TV, P, PA y PC, con respecto a los valores 6 meses atrás. En el caso de los tratamientos con inóculo, en cambio se observó un incremento de Na, con respecto a los 6 meses (Tabla 20). En comparación con el testigo absoluto, sólo Planta inóculo vermicomposta (PiV) mostró diferencias significativas en el incremento de sodio del tepetate (Tabla 20).

## Potasio

El análisis de varianza (Tabla 21) muestra que la planta, las enmiendas y el tiempo presentaron un efecto significativo sobre la cantidad de potasio intercambiable. La interacción enmienda tiempo fue significativa lo que destaca el efecto de las enmiendas en el aporte de potasio intercambiable.

Tabla 21. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el potasio intercambiable.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>K</b>	4.16*	365.88**	1.2	19.95**	0.62	6.3**	0.27

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la Tabla 22 se observa que hubo un incremento de potasio en ambos tiempos, con respecto a la condición inicial, presentándose los valores más altos por la presencia de las enmiendas orgánicas. El incremento fue estadísticamente significativo.

Tabla 22. Potasio intercambiable (cmol+kg<sup>-1</sup>) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>Condición inicial</b>	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>TAB</b>	0.29i	1.43±0.4e	2.13±0.3c
<b>TA</b>	0.29i	3.06±0.7a	2.99±0.9a
<b>TC</b>	0.29i	2.22±0.7c	2.44 ±0.5b
<b>TV</b>	0.29i	2.12±0.3c	2.47±0.7b
<b>P</b>	0.29i	1.39±0.2f	1.75±0.3d
<b>PA</b>	0.29i	2.54±0.3b	2.45±0.5b
<b>PC</b>	0.29i	2.24±0.4c	2.53±1.1b
<b>PV</b>	0.29i	1.82±0.4d	1.96±0.2d
<b>Pi</b>	0.29i	1.33±0.1f	1.79±0.4d
<b>PiA</b>	0.29i	2.63±0.1b	2.46±0.6b
<b>PiC</b>	0.29i	1.90±0.2d	2.27±0.2c
<b>PiV</b>	0.29i	1.98±0.6d	1.92±0.2d

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indica diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos (p<0.01)

En comparación con el testigo absoluto, en ambos tiempos se observó un incremento significativo de potasio con todos los tratamientos, siendo mayor con el testigo con abono. Luego de 1 año, se presentó un decremento de potasio con los tratamientos con estiércol de bovino, en comparación con 6 meses atrás (Tabla 22).

De manera general, se puede decir que las bases intercambiables son elementos importantes para el desarrollo de la planta. Como se mostró, los valores iniciales de bases en el tepetate solamente roturado (etapa inicial), se encuentran dentro del intervalo de valores considerados adecuados para el desarrollo de las plantas. La distribución y el contenido de potasio intercambiable, como de otros elementos, siguen un esquema relacionado con la presencia y la meteorización de los feldespatos y micas, los cuales se encuentran en la composición de los tepetates y son liberados paulatinamente al medio (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Hidalgo *et al.* (1999) mencionaron que los tepetates son ricos en bases, entre las que predominan calcio, magnesio y potasio. Estos elementos provienen de una fracción mineral rica en vidrio volcánico y plagioclasa, altamente susceptibles a la alteración pedogénica. Por el efecto del agua, así como por el metabolismo de las plantas, las cuales por medio de las raíces liberan  $\text{CO}_2$  (el cual al combinarse con agua forma  $\text{H}_2\text{CO}_3$  lo cual incrementa el intemperismo de los materiales), se lleva a cabo la liberación de las bases al medio (Ortega, 1981; Wild, 1992). Las plantas también favorecen el intemperismo, ya que al absorber los nutrimentos, inducen una diferencia en la concentración de iones, por ejemplo el K, lo cual provoca que el potasio que se encuentra en el material se difunda a la solución, permitiendo así que se liberen los iones que se encuentran en su composición (Nortcliff, 1992).

En los tratamientos que presentaron enmiendas, éstas contienen bases en diferentes cantidades (Tabla 1 del apéndice) que son liberadas al medio y pueden ser absorbidas por las plantas. Las bases son liberadas paulatinamente, por lo que se dice que tienen un efecto residual en el sustrato, a diferencia de los fertilizantes, cuya disponibilidad es inmediata (Domínguez, 1997). También, en algunos casos, hubo disminución con los tratamientos que presentaron planta, lo cual puede atribuirse a que son bases necesarias para su desarrollo y, por lo tanto, son absorbidas por las plantas desde el momento en que se encuentran disponibles. Los microorganismos también necesitan estas bases y ayudan a que las plantas obtengan de una mejor manera (Gregorich *et al.*, 1995), lo que justifica su disminución en el tepetate.

Los valores de bases obtenidos con todos los tratamientos, se consideran satisfactorias para el desarrollo de las especies vegetales, lo cual reviste una gran importancia, por tratarse de los principales cationes que se deben de tener presentes en el suelo, ya que son macronutrientes esenciales para el crecimiento de las especies vegetales y el desarrollo de la biota edáfica. En comparación con otros estudios con tepetate de la misma zona el porcentaje de bases fue mayor (Velázquez, 2002; Izquierdo, 2004), debido probablemente a las enmiendas utilizadas durante este experimento, las cuales pudieron tener un mayor aporte de bases al tepetate.

### **6.3 Propiedades bioquímicas del suelo**

Cabe mencionar, antes de presentar los resultados de los análisis de las propiedades bioquímicas (Carbono, sustancias húmicas y polisacáridos), que el análisis se realizó sólo para los 12 meses, para lo cual se tomó una muestra compuesta (con las 4 repeticiones) por cada uno de los tratamientos, por lo que sólo se tuvo una repetición por tratamiento. Con base en lo anterior, no se realizó el análisis estadístico de estos parámetros y únicamente se presenta un análisis descriptivo, que permite reconocer las tendencias de las variables de interés, por efecto de los factores considerados en el experimento.

#### **6.3.1 Carbono orgánico**

En la Tabla 23 se observa que el porcentaje de carbono fue mayor en los tratamientos testigo con composta y los tratamientos planta-inóculo-estiércol y planta-inóculo-composta. El testigo absoluto, así como la planta sola, mostraron los porcentajes más bajos de carbono. En los tratamientos testigo, el que no presentó ninguna enmienda, fue el de menor cantidad de carbono. Los tratamientos con composta fueron los que tuvieron el valor más alto al estar en combinación con la planta, de los cuales, planta inóculo estiércol y planta inóculo composta presentaron los valores más altos (Tabla 23). Como se puede observar, el incremento de carbono se observó cuando hubo presencia de las enmiendas, lo cual puede deberse a que las

enmiendas constituyen aporte directo de materia orgánica al tepetate. El que el contenido de carbono se haya incrementado por la presencia de las plantas, se debió a que las especies vegetales aportan materia orgánica por medio de los exudados radicales y raíces finas muertas, los cuales son compuestos orgánicos (Uren, 2001).

Tabla 23. Porcentaje de carbono en los tratamientos estudiados.

	<b>Carbono (%)</b>
<b>TAB</b>	0.65
<b>TA</b>	2.77
<b>TC</b>	3.32
<b>TV</b>	1.12
<b>P</b>	0.77
<b>PA</b>	2.57
<b>PC</b>	2.85
<b>PV</b>	1.50
<b>Pi</b>	1.92
<b>PiA</b>	2.95
<b>PiC</b>	2.95
<b>PiV</b>	2.02

Como se mencionó anteriormente, las enmiendas tienen gran importancia en el incremento del carbono en el tepetate, ya que al transformarse liberan cantidades significativas de compuestos orgánicos al sustrato, susceptibles de acumularse. Swift (2001), mencionó que los residuos orgánicos sufren una transformación completa a sustancias húmicas, derivados de lignina y carbohidratos, entre otros, lo que incrementa el porcentaje de carbono en el suelo. También, la planta y los microorganismos son fuentes importantes de carbono para el tepetate, ya que contribuyen de diferente manera en la captura y producción de carbono, como por ejemplo, por medio de exudados, degradan la materia orgánica, al morir, sus restos son incorporados al sustrato y presentan mayores sitios de interacción con el sustrato a través de estructuras como la raíz y las hifas.

Baez *et al.* (2002) mencionaron que la acumulación de carbono en el tepetate depende del tipo de cultivo que se considere, así como del tipo de labranza que aplique en el tepetate. En cuanto al tipo de labranza, sugieren que la tradicional favorece la

oxidación del carbono y su pérdida en forma de CO<sub>2</sub>, mientras que con la labranza cero, la materia orgánica reduce la evaporación, la temperatura y el intercambio gaseoso en la oxidación de la materia orgánica, lo que provoca que la descomposición de los residuos sea más lenta, ya que reduce el contacto con los microorganismos. También mencionaron que la roturación del material origina condiciones adecuadas para que las raíces penetren y favorece la circulación del aire y el agua, incrementándose la cantidad de microorganismos, todo lo cual, propicia la acumulación de carbono en el suelo.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en otros trabajos anteriormente (Báez, 2002; Velázquez, 2003) ya que con solo roturar el tepetate se tuvo un incremento en cuanto al contenido de carbono, así como poner un cultivo en este caso la higuera y aplicar las enmiendas este incremento fue aun mayor; debido a que éstas son un aporte directo de materia orgánica. Como se mencionó anteriormente también se incrementa la cantidad de microorganismos y proporciona nutrimentos a las plantas lo cual favorece la acumulación de carbono en el tepetate.

### **6.3.2 Sustancias Húmicas**

En la Tabla 24 se observan las diferentes fracciones C de las sustancias húmicas, los porcentajes que se presentan son con relación al contenido total de carbono orgánico de cada tratamiento. Como se muestra, las huminas constituyen la fracción mayor. Esto pudo deberse a la deficiencia de la técnica empleada, la cual se refleja en bajos porcentajes de extracción.

Tabla 24. Porcentaje de sustancias húmicas en los tratamientos estudiados.

	Materia orgánica libre	Ácidos fúlvicos	Ácidos húmicos	Huminas
TAB	0.11	1.75	0.25	26.40
TA	0.01	3.52	0.59	10.78
TC	0.02	1.57	0.78	3.42
TV	0.03	0.97	0.32	5.84
P	0.17	1.48	0.21	25.07
PA	0.02	0.71	1.19	5.56
PC	0.00	3.30	0.66	10.65
PV	0.02	0.62	0.62	5.82
Pi	0.00	0.51	1.17	17.62
PiA	0.01	0.99	0.33	11.22
PiC	0.01	3.78	1.26	26.85
PiV	0.01	3.38	0.48	10.20

Por lo que respecta a la materia orgánica libre (MOL), se encuentra en niveles muy bajos con todos los tratamientos (Tabla 24), respecto de las otras fracciones, ya que corresponde a los restos mas grandes de plantas y materiales orgánicos. El porcentaje es muy similar con todos los tratamientos, pero se puede ver que en los testigos y con la planta sola, se presentaron los valores más altos y, los más bajos, se presentaron en los tratamientos con planta e inóculo (Tabla 24). La materia orgánica libre son restos de plantas y enmiendas que no han sido degradados, por lo que los restos presentan un tamaño que permite identificarlos a simple vista. En el caso del presente estudio, esta fracción es reducida, debido en parte a que las enmiendas utilizadas fueron tamizadas. En el caso de las plantas con micorriza, el porcentaje de materia orgánica libre fue menor, posiblemente, debido a que los microorganismos agilizaron la degradación de los restos (Báez *et al.*, 2002).

El porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos del tepetate, fue bajo (Tabla 24), lo cual pudo deberse a la baja tasa de humificación de las enmiendas, como resultado del corto tiempo de experimentación. La diferente cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos en los distintos tratamientos, también pudo ser debida a la cantidad inicial de materia orgánica que aportó cada enmienda, ya que en cada una fue diferente. Las enmiendas presentaban (tabla 1 del apéndice) mayor cantidad de ácidos fúlvicos que de húmicos en el caso del abono y la vermicomposta, por lo que se refiere a la vermicomposta, ésta

presentaba valores similares de ambos compuestos, lo cual se refleja en los resultados finales, ya que es mayor el porcentaje de ácidos fúlvicos que de húmicos. Así como en los tratamientos con enmiendas se tiene mayor cantidad de ambos compuestos en comparación con los tratamientos que no tienen enmienda al concluir el experimento.

En los tratamientos testigo, se pudo observar que se presentaron valores más altos de ácidos fúlvicos al estar presente el estiércol. En cuanto a la cantidad de ácidos húmicos, en los mismos, fue menor. El tratamiento con composta fue el que presentó el valor más alto (Tabla 24).

Por lo que respecta a los tratamientos con planta, los valores de ácidos húmicos y fúlvicos fueron parecidos y sin diferencias entre ellos, como en el caso anterior. Para los ácidos fúlvicos el valor más alto se obtuvo con el tratamiento de planta con composta y, en cuanto a los húmicos, se presentó con el tratamiento de planta con estiércol (Tabla 24).

Con los tratamientos de planta con inóculo se presentó mayor cantidad de ácidos fúlvicos que de ácidos húmicos. El tratamiento sin enmienda y el que tuvo estiércol, propiciaron los valores más bajos tanto de ácidos húmicos, como de fúlvicos. El tratamiento con composta y el de vermicomposta, mostraron los valores más altos en comparación con todos los tratamientos y, en el caso de la composta, presentó el valor más alto de ácidos húmicos (Tabla 24).

Como se mostró, el incremento de ácidos húmicos y fúlvicos fue mayor cuando se adicionaron las enmiendas orgánicas (estiércol, composta y vermicomposta). Esto podría deberse a que estos materiales aportaron materia orgánica susceptible de ser humificada, así como también, porque constituyen un potencial aporte directo de sustancias prehúmicas al tepetate, ya que forman parte de su composición inicial (Tabla 1 del apéndice).

La presencia de planta y microorganismos agiliza el proceso de humificación, ya que además de aportar sustancias orgánicas, también aceleran la degradación de la materia orgánica, permitiendo que se formen sustancias húmicas. Las plantas que presentaron inóculo, propiciaron valores altos de humus y sugiere que la presencia de los microorganismos acentúa el proceso de humificación al ayudar a la degradación de la materia orgánica.

Con todos los tratamientos, el porcentaje de ácidos fúlvicos fue mayor que el de húmicos, lo cual pudo ser debido a que los ácidos fúlvicos son compuestos mas simples, que se forman primero durante la degradación de la materia orgánica, en comparación con los ácidos húmicos, los cuales son más complejos y se requiere mayor tiempo para su formación (Labrador, 1996). La presencia de estas sustancias es importante en el tepetate, ya que pueden servir como indicadores del mejoramiento de su calidad, dado que en estado inicial el tepetate presenta cantidades muy bajas de materia orgánica, por lo que estos compuestos no están presentes o se encuentran en cantidades mínimas y su seguimiento permitirá dar alternativas para mejorar su aprovechamiento (Velázquez, 2003).

Por lo que respecta a las huminas, se definen como la fracción de las sustancias húmicas que es insoluble en soluciones acuosas a cualquier pH (Rice, 2001). Se puede observar que los valores más altos se presentaron con el Testigo absoluto, Planta sin enmienda y Planta inóculo composta. El valor mas bajo se presentó con el tratamiento testigo con composta (Tabla 24).

El aporte de sustancias húmicas al sustrato, esta dado por el incremento en la cantidad de materia orgánica, ya que estos compuestos son los materiales primarios para la formación de nuevos compuestos como los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, durante el proceso denominado humificación. La humificación es el proceso mediante el cual se descomponen los restos de plantas y animales, para formar compuestos orgánicos altamente estables, como los ácidos húmicos y fúlvicos, pero también, durante dicho proceso, se liberan compuestos necesarios para el crecimiento de las

especies vegetales y los microorganismos, los cuales, al mismo tiempo, aceleran la descomposición de la materia orgánica (García, 2001).

La presencia de sustancias húmicas en los suelos y en este caso, en el tepetate, es importante porque participan en diversos procesos agronómicos, ambientales y geoquímicos. Por ejemplo, sirven como reservorio de micronutrientes, haciéndolos disponibles para que puedan ser absorbidos por la raíz de las plantas. También contribuyen como buffer del pH del suelo, así como destacan por su amplia capacidad de unión de las partículas minerales, contribuyendo en la formación de agregados y la estabilidad de la estructura. De su participación en procesos geoquímicos y ambientales, destacan la dislocación de minerales, la unión de pequeñas moléculas orgánicas, la reducción de los iones metálicos y la mediación en los procesos microbianos (MacCarthy, 2001).

### **6.3.3 Polisacáridos**

En la tabla 25 se observa que los testigos tendieron a tener menor cantidad de polisacáridos totales, en comparación con los tratamientos con planta. El tratamiento con el que se obtuvo el valor más alto fue el testigo con estiércol. Por lo que respecta a los tratamientos con planta, presentaron más del doble de polisacáridos que con los testigos, obteniéndose valores más altos con la presencia del inóculo. En cuanto a las enmiendas, se pudo ver que el mayor contenido de polisacáridos totales, se alcanzó con los tratamientos que contenían estiércol de bovino.

El aporte de polisacáridos al tepetate, fue mayor por el efecto de las plantas, así como por la adición de enmiendas, en especial del estiércol de bovino. El posible efecto que presentan las plantas sobre los polisacáridos podría ser además debido a la depositación y alteración de los restos de la parte aérea, así como a los compuestos de rizodepositación (Uren, 2001). Este efecto ya se había encontrado en trabajos anteriores (Velázquez, 2002) en los que se mencionó que, independientemente de que las plantas contengan los mismos compuestos (ceras, resinas, proteínas, carbohidratos,

celulosa y lignina), su proporción depende de la especie, lo que va a influir en la velocidad de descomposición de los restos

Tabla 25. Porcentaje de polisacáridos en los tratamientos estudiados.

	Polisacáridos (%)
TAB	0.125
TA	0.160
TC	0.123
TV	0.125
P	0.347
PA	0.350
PC	0.329
PV	0.273
Pi	0.395
PiA	0.427
PiC	0.353
PiV	0.353

Una de las principales características del suelo en las que interviene la presencia de sustancias húmicas y polisacáridos, es la estructura. Debido a que estos compuestos favorecen la unión de partículas minerales por un periodo de tiempo mayor que los enlaces temporales, por lo que Tisdall y Oades (1982) los consideraron agentes de unión persistentes. Esto, aporta mayor estabilidad a los agregados formados, lo que en el caso del tepetate es favorable, ya que permite la creación de una estructura que favorezca el desarrollo de las especies vegetales y el establecimiento de biota edáfica, lo que no sucede con el tepetate en estado original. Jastrow y Miller (1998) propusieron un modelo para explicar la unión de las partículas minerales y orgánicas, en el cual, los agentes de unión orgánicos envuelven a los microagregados estabilizándolos; siendo relativamente persistentes y constituidos de materiales húmicos o polímeros de polisacáridos fuertemente unidos a las arcillas, con las asociaciones persistentes arcilla-orgánicas, existentes.

Se observó que los compuestos bioquímicos analizados se incrementan por la presencia de las enmiendas, se favorecen mayormente con la presencia de planta y, aún más, cuando se asocian plantas con microorganismos. Esto es debido a que una

gran cantidad de los compuestos que se encuentran en la rizósfera, provienen de los compuestos orgánicos constituyentes normales de las plantas o son derivados de la fotosíntesis y otros procesos. Pero cabe señalar, que la cantidad de dichos compuestos es variable y depende de la especie vegetal, la técnica de cultivo, la edad de la planta, las condiciones ambientales, las propiedades del suelo, el estrés físico, químico y biológico, entre otros factores (Uren, 2001).

El monitoreo y cuantificación de las sustancias húmicas y polisacáridos permite conocer no sólo la cantidad de materia orgánica que se está adicionando al sustrato, sino también, la cantidad y tipo de compuestos orgánicos, así como inferir la calidad de los materiales que se incorporan al tepetate. Es importante conocer la calidad de la materia orgánica del suelo, y en este caso del tepetate, ya que tiene un papel importante en su funcionamiento como sistema dinámico. Swift (2001), mencionó que la materia orgánica tiene un papel preponderante en la fertilidad del suelo, principalmente en los ciclos biogeoquímicos, la retención del agua y como fuente de nutrimentos, así como en la formación y permanencia de la estructura. Es por ello que la presencia de materia orgánica favorece el desarrollo de plantas y microorganismos. Aunado al estudio de las características físicas y químicas del tepetate, es importante poder relacionar factores como la agregación y estabilidad de los agregados formados, lo que permite contar con una visión global de lo que ocurre en el tepetate como sistema y favorecer la habilitación del mismo.

## 6.4 Características de la planta

### 6.4.1 Crecimiento en Altura

Como se observa en la Tabla 26, la enmienda presentó un efecto significativo sobre el crecimiento de la planta; así como la interacción planta enmienda y la interacción de los tres factores fueron significativas.

Tabla 26. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el crecimiento en altura

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
<b>Altura</b>	2.81	13.18**	5.91*	0.35	0.82	1.48	3.51*

\*, p<0.05

\*\* ,p<0.01

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

Los datos pertenecientes a la altura, corresponden a la diferencia entre la altura inicial de cada planta y la altura al finalizar cada una de las etapas, por lo que se expresó como la diferencia en el crecimiento. En la tabla 27 se observa que las plantas sin inóculo, a los 6 meses, fueron las que presentaron la mayor altura y, al año, el crecimiento fue uniforme con todos los tratamientos.

Tabla 27. Crecimiento en altura(cm) de los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	6 meses	12 meses
<b>P</b>	6.22±3.1a	1.67±1.2c
<b>PA</b>	6.25±1.6a	1.67±1.7c
<b>PC</b>	2.35±3.8b	3.03±2.4b
<b>PV</b>	4.92±1.7a	1.75±1.0c
<b>Pi</b>	1.65±0.5c	2.50±0.4c
<b>PiA</b>	3.92±2.7b	1.83±0.9c
<b>PiC</b>	3.83±3.0b	1.75±0.6c
<b>PiV</b>	2.47±1.2b	3.50±0.0b

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indica diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos (p<0.01)

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA

En la tabla 27 se observa que en la etapa 1 el mayor crecimiento fue en las plantas de los tratamientos Planta sin enmienda, Planta con estiércol y Planta con vermicomposta; el tratamiento con menor crecimiento fue el de planta con inóculo. Luego de un año, sólo con el tratamiento Planta inóculo vermicomposta, la diferencia en altura fue estadísticamente significativa respecto al testigo, obteniéndose el valor más alto.

#### 6.4.2 Crecimiento en Diámetro

En la Tabla 28 se muestra que la interacción inóculo-enmienda, inóculo-tiempo e inóculo-tiempo-enmiendas fue significativa en el crecimiento en diámetro.

Tabla 28. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el crecimiento en diámetro.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Diámetro</b>	0.36	0.54	4.81*	0.56	7.26**	1.34	4.08**

\*,  $p < 0.05$

\*\* $, p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la tabla 29 se observa que con los tratamientos sin inóculo el mayor diámetro del tallo se presentó al año, a excepción de Planta vermicomposta (PV), con el cual no hubo engrosamiento del tallo. En cuando a las plantas con inóculo, el diámetro del tallo se incrementó más en los primeros 6 meses, en comparación con el segundo periodo de la misma duración.

A los 6 meses el tratamiento que favoreció un mayor diámetro de tallo significativamente fue Planta inóculo vermicomposta (PiV). Al año se presentó un incremento significativo del diámetro del tallo con todos los tratamientos sin inóculo, excepto en PV. Con los tratamientos con inóculo, Planta inóculo (Pi) y PiV, se observó un decremento significativo.

Tabla 29. Crecimiento en diámetro(mm) de los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>P</b>	0.18±0.2b	0.50±0.0a
<b>PA</b>	0.08±0.1c	0.20±0.b
<b>PC</b>	0.30±0.3b	0.30±0.1b
<b>PV</b>	0.23±0.2b	0.00±0.0c
<b>Pi</b>	0.27±0.2b	0.00±0.0c
<b>PiA</b>	0.22±0.1b	0.20±0.0b
<b>PiC</b>	0.16±0.2c	0.08±0.1c
<b>PiV</b>	0.38±0.2a	0.30±0.2b

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia estadística entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

### 6.4.3 Número de Hojas

En la tabla de ANOVA (Tabla 30) se observa que sólo se presentó un efecto altamente significativo por influencia del tiempo, sobre el número de hojas de las plantas de higuera.

Tabla 30. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el número de hojas

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Número de hojas</b>	0.30	65.51**	0.00	0.56	0.20	0.57	0.10

\*,  $p < 0.05$

\*\* , $p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la Tabla 31 se observa que, a los 6 meses, se obtuvo el mayor número de hojas y, que a los 12 meses se presentó una disminución con respecto a los 6 meses. La mayor disminución se presentó en los tratamientos sin inóculo.

Tabla 31. Número de hojas en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>P</b>	7.25±3.8a	0.32±0.5c
<b>PA</b>	7.25±4.3a	2.75±1.3b
<b>PC</b>	7.50±3.1a	0.32±0.5c
<b>PV</b>	7.00±2.2 a	2.30±2.6b
<b>Pi</b>	6.75±1.0a	0.80±1.0c
<b>PiA</b>	7.50±3.3a	2.75±2.4b
<b>PiC</b>	8.75±5.4a	1.80±2.9c
<b>PiV</b>	7.75±3.9a	1.80±2.9c

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

En la tabla 31 se observa que a los 6 meses no hubo diferencia significativa entre tratamientos, pero al año, se presentó una disminución significativa con todos los tratamientos respecto al periodo anterior, obteniéndose el mayor número de hojas con los tratamientos planta estiércol, planta vermicomposta y planta inóculo estiércol.

#### 6.4.4 Área Foliar

En la Tabla 32 se observa que se presentó un efecto altamente significativo del tiempo y de las enmiendas sobre el área foliar de las plantas de higuera.

Tabla 32. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para el área foliar.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Area foliar</b>	0.64	54.96**	0.09	3.17*	0.17	0.20	0.27

\*,  $p < 0.05$

\*\* , $p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la Tabla 33 se observa que, al igual que ocurrió con el número de hojas, el área foliar fue mayor a los 6 meses, que al año. Esto pudo deberse a la época del año (16 de Diciembre 2003) en que se realizó el corte, ya que la higuera es una planta que

pierde las hojas en la época de invierno. En ambas etapas se observa que el área foliar es mayor en los tratamientos que presentan enmienda.

Tabla 34. Área foliar (cm<sup>2</sup>) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>P</b>	342.41±109.3cb	11.28±22.5c
<b>PA</b>	424.45±335.6a	187.69±13.9b
<b>PC</b>	410.30±175.6a	36.15±72.3c
<b>PV</b>	311.43±114.4b	88.87±102.9c
<b>Pi</b>	356.59±191.6a	8.95±17.0c
<b>PiA</b>	534.41±286.2a	236.10±225.3b
<b>PiC</b>	399.36±90.7a	115.07±217.9c
<b>PiV</b>	377.13±114.7a	46.43±68.2c

Los números después del símbolo ± corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

A los 6 meses la mayor área foliar se presentó con los tratamientos con inóculo y con planta estiércol (PA) y planta composta (PC). Al año, se observó una disminución estadísticamente significativa del área foliar con todos los tratamientos, esta disminución fue menor en los tratamientos que presentaron enmiendas obteniéndose los valores mas altos el tratamiento PA y planta inóculo composta (PiC) (Tabla 34).

#### 6.4.5 Biomasa Aérea

En la tabla 35 se muestra que sólo el tiempo presentó una influencia altamente significativa sobre la biomasa aérea de la planta.

Tabla 35. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para la biomasa aérea.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Biomasa aérea</b>	0.14	11.82**	0.29	0.19	1.01	1.01	0.44

\*,  $p < 0.05$

\*\* ,  $p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la tabla 36 se observa que al año se obtuvo un incremento con todos los tratamientos, excepto con PiC respecto a los 6 meses. El valor más alto en la biomasa a los 6 meses se presentó con el tratamiento planta inóculo composta (PiC) y al año planta inóculo (Pi) tuvo el valor mas alto.

Tabla 36. Biomasa aérea (g) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>P</b>	16.09±2.9b	35.18±9.4a
<b>PA</b>	29.55±15.3b	38.17±10.2a
<b>PC</b>	30.50±40.8a	37.44±11.2a
<b>PV</b>	16.18±12.0b	37.68±9.2a
<b>Pi</b>	26.40±6.8b	45.31±6.8a
<b>PiA</b>	20.16±12.2b	36.29±10.4a
<b>PiC</b>	32.23±13.0a	29.87±4.6a
<b>PiV</b>	26.43±6.9b	34.72±12.2a

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

En la Tabla 36 se observó que los valores estadísticamente más altos de biomasa aérea a los 6 meses, se obtuvieron con los tratamientos planta con composta (PC) y PiC. El incremento a los 12 meses respecto al periodo anterior fue significativo con todos los tratamientos, excepto con los que a los 6 meses se presentaron los valores más altos.

### 6.4.6 Biomasa subterránea

En la tabla de ANOVA (Tabla 37) se muestra que sólo el tiempo presentó una influencia altamente significativa sobre biomasa subterránea.

Tabla 37. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para biomasa subterránea

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>AC</b>	<b>BC</b>	<b>ABC</b>
<b>Biomasa subterránea</b>	0.99	57.19**	0.58	0.41	0.10	0.39	0.53

\*,  $p < 0.05$

\*\* $, p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la tabla 38 se observa que, la biomasa subterránea fue mayor al año, con todos los tratamientos, en comparación con la correspondiente a los 6 meses.

Tabla 38. Biomasa subterránea(g) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>P</b>	38.56±9.4c	76.52±24.0a
<b>PA</b>	39.46±13.0c	64.20±9.7ab
<b>PC</b>	32.15±13.4c	82.32±49.0a
<b>PV</b>	36.10±14.3c	63.88±20.6b
<b>Pi</b>	35.10±12.2c	86.86±20.7a
<b>PiA</b>	30.23±11.9c	77.92±6.1a
<b>PiC</b>	43.29±2.2b	81.02±34.4a
<b>PiV</b>	42.37 ±12.4b	77.35±a24.7

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indican diferencia significativa entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

En la tabla 38 se observa que a los 6 meses sólo se presentaron diferencias significativas en biomasa subterránea, con los tratamientos planta inóculo composta (PiC) y planta inóculo vermicomposta (PiV) los cuales obtuvieron los valores mas altos respecto a los otros tratamientos. El incremento a los 12 meses fue significativo con todos los tratamientos, con respecto a la etapa anterior. Luego del año sólo se presentaron diferencias significativas con los tratamientos planta estiércol (PA) y planta

vermicomposta (PV), con los cuales se presentó una disminución de la biomasa subterránea, respecto a los demás tratamientos.

#### 6.4.7 Biomasa total

En la tabla de ANOVA (Tabla 39) se muestra que sólo el tiempo presentó una influencia altamente significativa sobre biomasa subterránea.

Tabla 39. Análisis de varianza (valores de F) para los factores principales y sus interacciones para biomasa total.

	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
<b>Biomasa total</b>	0.86	54.51**	0.09	0.39	0.38	0.37	0.68

\*,  $p < 0.05$

\*\* $, p < 0.01$

A: Planta

B: Enmienda

C: Tiempo

En la tabla 40 se observa que, la biomasa total fue mayor al año, con todos los tratamientos, en comparación con la correspondiente a los 6 meses. A los 6 meses la planta inóculo y composta fue la que presentó el valor más alto estadísticamente significativo. A los 12 meses el valor más alto lo presentó la planta con inóculo

Tabla 40. Biomasa total (g) en los tratamientos estudiados. Comparación de medias (Tukey)

	6 meses	12 meses
<b>P</b>	54.65±9.9c	111.70±29.0a
<b>PA</b>	69.01±21.5c	102.38±8.6a
<b>PC</b>	62.65±45.2c	119.76±23.3a
<b>PV</b>	52.28±21.6c	101.56±19.7b
<b>Pi</b>	61.50±15.4c	132.17±17.3a
<b>PiA</b>	50.35±24c	114.21±16.4a
<b>PiC</b>	75.62±13.2b	110.89±38.6a
<b>PiV</b>	68.80 ±18.3c	112.06±22.0a

Los números después del símbolo  $\pm$  corresponden a la desviación estándar. Las letras ubicadas después de los valores, indica diferencia significativa estadística entre tratamientos y entre tiempos ( $p < 0.01$ )

Por lo que respecta al rendimiento de la planta, se puede decir que se favorece significativamente en todas las características medidas, con el aporte de las diferentes enmiendas utilizadas, ya que éstas aportan macro y micronutrientes que favorecen el crecimiento y desarrollo de la especie vegetal, lo que se puede corroborar en el incremento que presentaron las bases intercambiables a lo largo del experimento (figura 6 y 7). Las enmiendas utilizadas son abonos orgánicos, su uso mantiene y aumenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, ya que su aplicación constante con el tiempo mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo de esta manera los cultivos (Trinidad, 1999). Si bien los abonos orgánicos contienen una menor concentración de nutrientes, en comparación con los fertilizantes, la disponibilidad de éstos es más constante durante el desarrollo del cultivo, por la descomposición gradual que presentan los abonos orgánicos.

Se observó también que las plantas con inóculo presentaron un mayor incremento de algunas características medidas de la planta, lo que pudo deberse a que los hongos micorrízicos facilitaron la toma de nutrientes por la planta, favoreciendo que sus características de crecimiento y desarrollo se incrementen. Uno de los principales beneficios que recibe la planta, de los hongos micorrízicos, es el aporte de fósforo, lo cual se debe al rápido crecimiento de las hifas, las cuales aumentan la absorción y traslocación de nutrientes, no sólo de fósforo, sino también de Zn, Ca, S, Cu y Mg. Este efecto es más notorio en suelos con baja fertilidad. Otro beneficio es que las micorrizas actúan como acelerador del crecimiento, por lo que las plantas adquieren mayor vigor y sanidad, entre otras características (Gómez-Cruz, 1995; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Sharpley *et al.* (1992) mencionaron que los hongos micorrízicos modifican de manera favorable el potencial de absorción de nutrientes de las raíces, esto debido a que incrementan la superficie de exploración de las raíces y ayudan a la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, así como las modificaciones químicas que provocan en la rizósfera.



Figura 6. Comparación entre tratamientos con inóculo.



Figura 7. Vista general de las plantas a los 12 meses de experimentación.

Gómez (1995), mencionó varios trabajos en los cuales se han obtenido resultados favorables en el desarrollo de diferentes frutales, con la aplicación de inóculo de hongos micorrízicos arbusculares. Entre algunas de las especies están la papaya, la guanábana, chirimoya, café, mango, limón, aguacate y fresa. Así mismo se están realizando estudios sobre áreas erosionadas, utilizando frutales para su recuperación.

Por lo que respecta al presente experimento, el número de hojas y el área foliar fueron las únicas características que con el paso del tiempo presentaron una notable disminución de sus valores iniciales, pero probablemente no fue por el efecto de los tratamientos, sino que se debió a que la planta utilizada es una especie que pierde las hojas en alguna época del año. El corte de la segunda etapa (16 de Diciembre de 2003) coincidió con esta época, razón por la cual se observó dicho decremento.

Cabe destacar que la mejora en las características físicas y químicas del tepetate en el tiempo de experimentación contribuyó a que se presentara un mejor desarrollo de las higueras. Ya que al roturar el material y formarse agregados ayuda a que se desarrollen las raíces y pueda haber una mejor captación de agua y nutrimentos, así como las condiciones de pH y el incremento de la materia orgánica propiciaron condiciones favorables para el desarrollo de las plantas, al igual que el incremento en el contenido de bases favorece la disponibilidad de macronutrimentos para el desarrollo de las higueras.

---

## 7. CONCLUSIONES

- La aplicación de materia orgánica al tepetate roturado, a través de enmiendas, incrementó la formación de agregados en la fracción de 2-5 mm, lo cual favorece el desarrollo de especies vegetales en el tepetate.
- La higuera (*Ficus carica*, L.) por medio de sus raíces, aumentó la disgregación y agregación del tepetate. Así como el inóculo incrementó la formación de agregados, lo que favoreció la estructuración del material.
- La estabilidad de los agregados formados en el tepetate fragmentado de 3-5 mm, se incrementó por la presencia de la especie vegetal *Ficus carica* L, las enmiendas orgánicas y las micorrizas también favorecieron la estabilidad.
- La aplicación de estiércol de bovino, composta y vermicomposta incrementó el contenido de materia orgánica, calcio, sodio y potasio en el tepetate, mejorando su calidad y permitiendo el desarrollo de las especies vegetales.
- El pH y el magnesio del tepetate se mantuvieron dentro de valores apropiados para el desarrollo de la higuera.
- Se obtuvo un incremento en el porcentaje de polisacáridos y sustancias húmicas del tepetate fragmentado, por la adición de las enmiendas orgánicas, presentándose el mayor incremento con estiércol de bovino, así como también con las plantas inoculadas.
- El desarrollo de la higuera se favoreció por las características del tepetate en las condiciones estudiadas, permitiéndole un buen crecimiento, ayudado por la presencia del inóculo.

## 8. DISCUSIÓN GENERAL

La restauración de suelos es un proceso a largo plazo, ya que la formación de suelo de forma natural es en un periodo de tiempo largo. Los tepetates como ya se dijo quedan expuestos al perderse totalmente el suelo que se encontraba sobre ellos, por lo que no es una recuperación de ese suelo sino es una habilitación de los tepetates a un uso frutícola o agrícola, para que las personas de la zona recuperen los lugares erosionados y no se pierdan más zonas, ya que buscan nuevos sitios para poder utilizarlos en la agricultura y como no se tienen técnicas agrícolas adecuadas se erosiona el suelo.

Para comenzar con el proceso de habilitación de los tepetates primeramente se tienen que roturar, ya que de esta manera modificamos una de sus principales limitante que es la estructura masiva. Con esto se permite el movimiento de oxígeno y agua dentro del tepetate y de esta manera las raíces de las planta pueden penetrar. No se debe de moler muy fino ni dejar los fragmentos muy grandes ya que se tendrían problemas ya que el paso del agua podría ser muy rápido o muy lento y esto podría ocasionar que el tepetate se erosionara o que no permitirá el crecimiento de las raíces. Además, cuando el tepetate queda finamente molido puede haber recementación de las partículas.

Otra de las principales limitantes es la carencia de materia orgánica, por lo que por medio de enmiendas orgánicas se puede incrementar su contenido lo que ayudará al crecimiento de las plantas y a mejorar otras de las características que el tepetate presenta. Se deben tomar en cuenta los requerimientos de la planta que se vaya a utilizar, pero se debe considerar que debido a que el tepetate carece de materia orgánica, las dosis deben de incrementarse, ya que las cantidades recomendadas están hechas para ser utilizadas en suelo, los cuales tienen cierta cantidad de materia orgánica, cosa que no sucede en el tepetate, razón por la cual las dosis deben de ser elevadas.

Es importante tomar en cuenta las características de la zona que se desea habilitar para que se tenga un beneficio completo de este proceso. Por tal motivo en el experimento se decidió poner una especie frutal ya que la zona es frutícola, la planta fue la higuera que en esta zona se desarrolla bien. Para los estudios en campo se hacen cepas en las cuales se rotura el materia por medio de herramientas comunes pico, cincel y martillo, ya que si se hace por medio de surcos se favorecería la pérdida del material.

En este estudio al roturar el material entre 2 y 10 mm e incorporar materia orgánica (estiércol el equivalente a 72Mg/ha, composta y vermicomposta en 40 Mg/ha) se modificaron las características físicas y químicas del tepetate de manera favorable, lo cual permitió el desarrollo de la higuera. El intervalo en el que fue molido el tepetate al inicio del experimento permitió el desarrollo de la raíz de la higuera, ya que facilitó el paso de agua y aire. Las tres enmiendas utilizadas mejoraron las características del tepetate de manera satisfactoria, ya que aportan de manera directa materia orgánica.

La higuera fue una especie que se desarrolló de manera adecuada en las condiciones del tepetate, debido a que es una especie que no presenta fuertes limitantes para su desarrollo, por lo que esto es una importante característica que se debe de tomar en cuenta cuando se escojan plantas para la habilitación del tepetate. Ya que si son especies que requieren muchos cuidados no permitirán una buena habilitación y las plantas no tendrán un desarrollo adecuado.

De manera general se puede decir que la presencia de la higuera y la incorporación de materia orgánica permiten la habilitación del tepetate a un uso frutícola, pero es necesario el realizar más estudios sobre la habilitación del tepetate. Se deben de estudiar los cambios que se presentan con otras especies vegetales, así como también se deben de hacer estudios más largos para poder observar los cambios en el tepetate ya que como se observó algunas características requieren un mayor tiempo para ser estudiadas ya que sus cambios son lentos. Como en el caso de las propiedades bioquímicas para su estudio se requiere de mayor tiempo de observación.

Para realizar estudios en campo se pueden tomar en cuenta las características y los cambios ocurridos en este estudio ya que las condiciones pueden ser similares. En campo se haría cepas con materiales similares a los aquí ocupados, ya que el hacer surcos en el caso del frutal no tiene caso y se provocaría que se erosionara el tepetate roturado, así como se tendría que aplicar también materia orgánica y utilizar una planta aclimatada a la zona.

---

## 9. LITERATURA CITADA

- ❖ Acevedo S. O. A. 1997. Morfogénesis de suelos con tepetate de un área del estado de México y su incorporación al proceso productivo. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM. México D. F. 130 p.
- ❖ Acevedo S. O. A. y Flores R. D. 1997. Efecto de especies vegetales en la agregación y disgregación en dos tipos de tepetate del Estado de México, en condiciones de invernadero. *In* C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (Eds). III Simposio internacional suelos volcánicos endurecidos. Quito, Ecuador. p. 178-184.
- ❖ Aguilera H. N. 1989. Tratado de edafología de México. Facultad de Ciencias UNAM. México D.F. 222 p.
- ❖ Alarcón A. y Ferrera R. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra* 17(3): 179-191
- ❖ Álvarez. J., Ferrera R y Etchevers B. J. 2000. Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34: 523-532
- ❖ Álvarez S. J. D., Ferrera C. R. y Zebrowski C. 1992. Análisis de la microflora asociada al manejo agroecológico en la recuperación de tepetates. *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 419-424
- ❖ Angers D. A. and Caron J. 1998. Plant induced change in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry* 42: 55-72
- ❖ Arias R. H. 1992. Rehabilitación de tepetates una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 309-317
- ❖ Astier C. M., Mass M. y Etchevers B. J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620
- ❖ Báez P. A., Etchevers B. J. D., Hidalgo M. C, Prat C. Ordaz Ch. y Núñez E. R. 2002. C Orgánico y P-Olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia* 36: 643-653.
- ❖ Bohn H. L., Mc Neal B. L. y O' Connor G. A. 1996. Química del suelo. Limusa. México, D. F. 370 p
- ❖ Bronick C. J. and Lal R. 2004. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124(1-2):13-22

- 
- ❖ Capistrán F., Aranda E. y Romero J. C. 1999. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de Ecología, A. C. Jalapa México. 150p
  - ❖ Dabin, B. 1971. Etude d'une methode d'extraction de la matiere humique du sol. *Science Soil* 1: 47-63
  - ❖ Day M. and Kathleen S. 2001. Biological, chemical, and physical processes of composting. In Stoffella P. and Kahn B. A. Compost utilization in horticultural cropping systems. Lewis publishers. USA. p 17-50
  - ❖ Denef K., Six J., Bossuyt H., Frey S., Elliot E., Merck R. and Paustin K. 2001. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 33:1599-1611
  - ❖ Díaz A. J. 2001. Influencia de especies vegetales, abono y fertilizante, sobre algunas de las características químicas de tepetate fragmentado, en condiciones de campo Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 147 p.
  - ❖ Domínguez V.A. 1997. Tratado de fertilidad. 3ªed. Mundi-Prensa. España. 601 p.
  - ❖ Dorioz J. M., Robert M. and Chenu C. 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. *Geoderma* 56: 179-194
  - ❖ Entry J. A., Rygielwicz P. T., Watrud L. S. And. Donnelly P. K. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research* 7: 123-138
  - ❖ Etchevers J. y Ferrera C. R. 1994. Fertilidad de los suelos volcánicos endurecidos: características químicas y microbiológicas de los tepetates de México. *In: Etchevers, J. D. Aguila, A. Núñez, R. Alcantar J. y Sánchez, P. (Eds) 15º congreso mundial de la ciencia del suelo. Acapulco, México. p 571-589.*
  - ❖ Etchevers J., Pérez O., Brito H, Vargas M. y López U. 1998. La fertilidad de los tepetates del eje neovolcánico en los estados de México y Tlaxcala. *In: Navarro, H. Pupon, H. Pérez, M. A. Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetate), Colegio de Posgraduados. México. p 17-36*
  - ❖ Eviner V. and Chapin III S. 2002. The influence of plant species, fertilization and elevated CO<sub>2</sub> on soil aggregate stability. *Plant and Soil* 246:211-219

- 
- ❖ Fassbender H. W. Y Bornemisza. 1987 Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 420p
  - ❖ Féller C., Albrecht A. and Tessier D. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropicals soils. *In*: Carter M. and B. A. Stewart (Eds). Structure and organic matter storage in agricultural soil. Lewis Publisher. New York, U. S. A. p 309-359
  - ❖ Ferrera C. R., Velasco V. J. y Santamaría R. S. 1992. Aportaciones del proceso de composteo y vermicomposteo. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. 30 p.
  - ❖ Ferrera C. R., González C. M. C. y Rodríguez M. .1993 Manual de Agrobiología. México 142 p.
  - ❖ Ferrera C. R., Ortiz A, Delgadillo J. y Santamaria S.1997. Uso de la materia orgánica en la recuperación de tepetates y su influencia en los microorganismos. *In* C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (Eds). III Simposio internacional suelos volcánicos endurecidos. Quito, Ecuador. p. 225-237.
  - ❖ Finck A. 1988. Fertilizantes y fertilización. Reverte. España. 439 p.
  - ❖ Flores R. D., Alcalá M. J. R., González V. A. y Gama C. J. E. 1991. Los tepetates. *Revista de Geografía* 3: 37-42
  - ❖ Flores R. D., Alcalá M. J. R., González V. A. y Gama C. J. E. 1992. Suelos con fragipan de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo el caso del Noroeste del estado de Morelos, México. *Revista del Instituto de Geología UNAM* 10(2) 151-163.
  - ❖ Flores R. D., Alcalá J. R., González V. A. y Gama J. E.. 1996. Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the trans-Mexico volcanic Belt. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 13(2) 228-239.
  - ❖ García, E.1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), Ed. Indianápolis, México, D. F., 145 p.
  - ❖ García C. A. 2001. Agregación en tepetate por influencia de especies vegetales, abono y fertilizante en condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 85 p.

- 
- ❖ García C. N. E. 2002. Comportamiento de las sustancias húmicas en la naturaleza. XX Curso-Diplomado Internacional de Edafología. México D. F.
  - ❖ Gobierno de Morelos, 2004 e-municipios.e-morelos.gob.mx/tetela\_del\_volcan.htm (en internet)
  - ❖ Gómez C. 1995. La micorriza vesículo arbuscular en frutales. In R. Ferrera C. R. y Pérez M. J.(eds) Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Edo. de México. p 184-199.
  - ❖ González C. M. C. 1995. Interacción de la simbiosis endomicorrizica y la fijación biológica de nitrógeno. In R. Ferrera C. R. y Perez M. J.(eds) Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Edo. de México. p. 166-183
  - ❖ Gregorich E. G., Angers D. A., Campbell C. A., Carter M. R., Drury C. F., Ellert B. H., Groenevelt P. H., Holmstrom D. A., Monreal C. M., Rees H. W., Voroney R. P. and Vyn T. J. 1995 Change in soil organic matter. In: D. F. Acton and L. J. Gregorich (eds.) The healths of our soils. Toward sustainable agriculture in Canadá. Publication 1906/E. Canadá. p. 41-50.
  - ❖ Hidalgo C., Etchevers J. D. Perez M. A., Vera A., Flores D y Navarro H.. 1999. Restauración de suelos volcánicos endurecidos. La experiencia del centro de México: Proyecto tepetates. In. Siebe C., Rodarte H. C., Toledo G., Etchevers J. y Oleschlo K. (eds) Conservacion y restauracion de suelos PUMA-UNAM, México p. 452-472.
  - ❖ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Anuario estadístico Morelos. INEGI, Gobierno del estado de Morelos. Aguascalientes, México. 426 p
  - ❖ Infoagro. 2004. www.infoagro.com (en internet)
  - ❖ Izquierdo C. T. 2004. Efecto de composta, vermicomposta y fertilizante en la producción de cempasuchil (*Tagetes erecta* L.) y la formación de agregados a partir de un tepetate fragmentado. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 110 p.

- 
- ❖ Jastrow J. D. and Miller R.M. 1998. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral association. *In: Lal, R., Kimble, J.M., Follet R. R. and Stewart B. A. (Eds). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press. New York. USA. p 207-223*
  - ❖ Kay B. D. 1998. Soil structure and organic carbon: a review. *In: Lal R, Kimble M. Follet F and Stewart (Eds). Soil Processes and the carbon cycle. CRC Press. New York USA. p.169-197.*
  - ❖ Kay B. D. and Angers D. A. 2002. Soil structure. *In: Warrick A. W. Soil physics companion. CRC press. USA. p. 249-295*
  - ❖ Kemper W. D. 1965. Aggregate Stability. *In: Black C.A., Evans D., White L. Ensminger and Clark F. E. (Ed.) Methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Soc. of Agronomy. Inc. Publisher. Madison. Wisconsin, USA. p. 499-519*
  - ❖ Kemper W. D. and Rosenau R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *In: Klute A. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 1-Physical and Mineralogical methods. American Society of Agronomy Soil Science Society of American. Madison, Wis. p. 425-442*
  - ❖ Klute A. (Ed) Methods of soil Analysis. Part 1-Physical and mineralogical methods. American Society of Agronomy. Soil Science Society of American. Madison, Wis. 1188 p.
  - ❖ Labrador M. J.1996. La material orgánica en los agrosistemas. Mundi-prensa España 174p
  - ❖ Le Bissonnais Y. 1995 Soil characteristics and aggregate stability. In Agassi, M. (ed). Soil erosion, conservación and rehabilitation. Marcel Dekker, Inc. U.S.A. p. 41-60.
  - ❖ Levy, G. J. and Van Der Watt, H. 1990. Effect of exchangeable potassium on the hydraulic conductivity and infiltration rate of some South African soils. *Soil Science* 146:303-310
  - ❖ MacCarthy. P.2001 The principles of humic substances. *Soil Science*. 166(11): 738-751
  - ❖ Marshal T. J., Holmes J. W. and Rose C. W. 1996. *Soil Physics*. 3° ed. Cambridge University Press. USA. p. 199-228.

- 
- ❖ Martínez G. y Chacalo, M. 1994 Los arboles de la ciudad de México. UAM. México. 35 p.
  - ❖ Miller W. R. y Gardiner D. T. 1998 Soil in our environment, Printice Hall, USA, New Jersey. 735 p.
  - ❖ Nadler A. and Steingerg. 1993. Trends in structure, plant growth, and microorganism interrelation in the soil. *Soil Science* 155(2): 144-122.
  - ❖ Neergaard B. B. and Leif P. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. *Plant and Soil* 218: 173-183.
  - ❖ Nimlos T and Hillery P. 1990. The strength/moisture relations and hydraulic conductivity of Mexican tepetate. *Soil Science* 150: 425-430
  - ❖ Notcliff S. 1992. Formación del suelo y características de los perfiles edáficos. *In: Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 177-221.*
  - ❖ Oades J. M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400
  - ❖ Ortega E. 1981 Química de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 417p.
  - ❖ Payne D. 1992. Estructura del suelo, laboreo y comportamiento mecánico. *In: Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Mundi-Prensa. Madrid, España. 395-429*
  - ❖ Pérez M. A., Etchevers J., Navarro-Garza H. y Núñez-Escobar R. 2000. Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia* 34(2): 115-125.
  - ❖ Pimentel B. L. 1992. Como hacer productivos a los tepetates en México. *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 293-301
  - ❖ Pinton R., Varanini Z. and Nannipieri P. 2001 The rhizosphere. Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Marcel Dekker, Inc. New York, USA 95 p.
  - ❖ Rice J. 2001. Humin. *Soil Science* 166(11) 848-857
  - ❖ Rilling M. C., Wright S. and Eviner V. 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil* 238: 325-333.

- 
- ❖ Ruiz F. J. 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 222 p.
  - ❖ Sharpley , J. J., Meisinger, J. F. PowerJ. And Suarez D. L. 1992. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. *In* Hatfield J. L. and Stewart B. A. (Eds) Limitations to plant root growth. Springer-Verlag New York. p 151-218
  - ❖ Shiel R. S., Adey A. M. and Lodder M. 1988. The effect of successive wet/dry cycles on aggregate size distribution in clay texture soil. *Journal of Soil Science* 39: 71-80
  - ❖ Sparks, D. L. Ed) 1996. Methods of soil analysis Chemical methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison Wis. Num 5 Pte 3 1390p.
  - ❖ Stevenson F. J. 1994. Humus Chemistry, composition, relations. John Wiley and sons, Inc. New York, USA. 443p
  - ❖ Swift R. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science*. 166(11): 858-871
  - ❖ Tate III R. L. 1992. Soil Organic Matter biological and ecological effects. Krieger Publishing Company. Malabar Florida USA p. 218-237
  - ❖ Tisdall J. M. and Oades J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science* 33: 141-163
  - ❖ Tisdall J. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soil. *Plant and Soil*. 159:115-121.
  - ❖ Trinidad S. A. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos *In: Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. p. 3-16
  - ❖ Troeh F. and Thompson M. 1993. Soil and soil fertility 5<sup>a</sup> ed. Oxford University Press. USA. p. 89-145
  - ❖ Uren N. C. 2001. Types, amounts and possible functions of compounds released into the rizosphere by soil-grown plants. *In: R. Pinton, S. Varanini y P. Nannipieri (Eds). The rizosphere. Biochemistry and organic substances at the soil –plant interface*. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A. p. 19-40
  - ❖ Vázquez C., Batiz M., Alcocer A., Gual D. y Sánchez D. 2000 Arboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Proyecto J-084-CONABIO.

- ❖ Velázquez R. A. S. 1997. Disgregación, alteración y agregación de dos niveles de fracturación de tepetates del estado de Morelos por especies vegetales perennes en condiciones de invernadero. Tesis Maestría en Ciencias (Edafología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 147 p.
- ❖ Velázquez R. A. S., Flores R. D. y Acevedo S. O. A. 2001. Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales. *Agrociencia* 35(3): 311-320.
- ❖ Velázquez R. A. S. 2002. Especies vegetales, abono y fertilizante: su influencia en la calidad de un tepetate de Tetela del Volcán, Estado de Morelos. Tesis Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F. 125 p.
- ❖ Wild A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. **Mundi-Prensa**. Madrid, España. 1045 p.
- ❖ Zebrowski C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. *Terra* 10 (Número especial Suelos Volcánicos Endurecidos): 15-23

## *10. Apéndice*

Tabla 1. Características de las enmiendas utilizadas.

	Color		pH (1:2.5)	MO	C	N	C/N	Ca	Mg	Na	K
	Húmedo	Seco									
<b>Estiércol</b>	10YR4/2 Pardo grisáceo oscuro	10YR3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	8.32	12.5	7.25	0.94	7.71	17.6	30.9	34.34	18.97
<b>Composta</b>	10YR3/2 Pardo grisáceo muy oscuro	10YR2/1 Negro	7.68	31.22	18.11	1.79	10.12	56.1	6.9	13.04	20
<b>Vermicomposta</b>	10YR4/1 Gris oscuro	10YR2/1 Negro	7.53	31.38	18.2	1.76	10.34	41.8	50.2	11.19	11.85

	Carbono	MOL	AF	AH	Huminas
			(%)		
Estiércol	7.25	0.02	32.66	28.63	13.86
Composta	18.12	0.01	17.22	20.66	9.58
Vermicomposta	18.20	0.02	28.01	18.26	15.00

Tabla 2. Porcentaje de colonización de las micorrizas en los tratamientos estudiados

	<b>6 meses</b>	<b>12 meses</b>
<b>Pi I</b>	9	65
<b>Pi II</b>	0	78
<b>Pi III</b>	0	90
<b>Pi IV</b>	18	65
<b>PiA I</b>	0	41
<b>PiA II</b>	0	25
<b>PiA III</b>	1	40
<b>PiA IV</b>	0	28
<b>PiC I</b>	0	53
<b>PiC II</b>	11	36
<b>PiC III</b>	4	55
<b>PiC IV</b>	4	55
<b>PiV I</b>	7	40
<b>PiV II</b>	0	41
<b>PiV III</b>	0	71
<b>PiV IV</b>	0	71