

70



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

AGREGACION EN TEPETATE POR INFLUENCIA DE ESPECIES VEGETALES, ABONO Y FERTILIZANTE EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

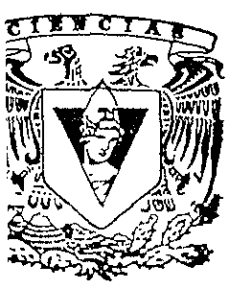
B I O L O G A

P R E S E N T A :

A L E I D A G A R C I A C R U Z

200313

DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID FLORES ROMAN



2001



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION DE CIENCIAS



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.



REPUBLICA NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

"Agregación en tepetate por influencia de especies vegetales, abono y
fertilizante en condiciones de invernadero"

realizado por **ALEIDA GARCIA CRUZ**

con número de cuenta 9753666-0, pasante de la carrera de **BIOLOGIA**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dr. David Flores Román

Propietario

M. en C. Alma Socorro Velázquez Rodríguez

Propietario

M. en C. Ma. Guadalupe Tsuzuki Reyes

Propietario

M. en C. Italia Mercado Sotelo

Propietario

Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval

FACULTAD DE CIENCIAS
U N A M.

Consejo Departamental de Biología



Dra. Patricia Ramos Morales

DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

Agradecimientos

Por este medio quiero agradecer a todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta tesis

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias

Al Instituto de Geología. Departamento de Edafología. Laboratorio de fertilidad de suelos por permitirme el uso de sus instalaciones para la realización del trabajo.

Al Dr. David Flores Román por la dirección de la tesis

A los miembros del Jurado por la revisión exhaustiva del manuscrito

Dr. David Flores Román
M. en C. Alma S. Velázquez Rodríguez
M. en C. Guadalupe Tzutzuki Reyes
Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval
M. en C. Italia Mercado Sotelo

A la M. en C. Alma Velázquez Rodríguez por su amistad y apoyo durante la realización de este trabajo

A la M. en C. Guadalupe Tzutzuki Reyes y a la Dra. Norma Eugenia García Calderón por sus comentarios durante la realización del trabajo.

A mis compañeros de Laboratorio Jéssica Díaz Avelar, Gilberto Vela Correa y Humberto Núñez Cardona por su apoyo y comentarios

A mis amigas Ivonne Martínez, Teresa Solís, Gabriela Jiménez, Ana Castrejón, por su amistad y apoyo.

A la CORENADER del Gobierno del Distrito Federal, por la donación de los árboles frutales

A PAPIIT (DGAPA, UNAM) por la beca de licenciatura otorgada

A los señores Benito Abdón y Gonzalo Abdón por su apoyo durante el muestreo del material en el Municipio de Tetela del Volcán, Estado de Morelos.

INDICE

Resumen	i
I Introducción	1
II Revisión de literatura	2
2.1 Tepetate	2
2.1.1 Definición y tipos	2
2.1.2 Distribución en México	5
2.1.3 Importancia	7
2.2 Abonos	9
2.2.1 Tipos	10
2.2.2 Importancia	11
2.3 Fertilizantes	11
2.3.1 Tipos	11
2.3.2 Importancia	12
2.4 Agregación	13
2.4.1 Definición	13
2.4.2 Factores que determinan la agregación	14
2.4.2.1 Físicos	14
2.4.2.2 Químicos	15
2.4.2.3 Biológicos	16
2.4.3 Estabilidad de agregados	18
2.5 Especies vegetales	20
2.5.1 Higuera (<i>Ficus carica</i> L.)	20
2.5.2 Pasto Rhodes (<i>Chloris gayana</i> Kunth)	22
III Objetivos	24
3.1 Objetivo General	24
3.2 Objetivos Específicos	22
IV Hipótesis	24

V	Zona de Muestreo	24
	5.1 Características generales	24
	5.2 Características del tepetate	26
VI	Metodología	28
	6.1 Planteamiento general	28
	6.2 Descripción del diseño	29
	6.3 Análisis de laboratorio	32
VII	Resultados y discusión	35
	7.1 Propiedades químicas	35
	7.1.1 pH en agua	35
	7.1.2 pH en cloruro de sodio	37
	7.1.3 Materia orgánica	39
	7.1.4 Capacidad de intercambio catiónico total	42
	7.1.5 Bases intercambiables	44
	7.1.6 Saturación de Bases	52
	7.2 Propiedades físicas	54
	7.2.1 Agregación	54
	7.2.2 Estabilidad	66
	7.2.3 Relación Materia Orgánica- Estabilidad	74
	7.3 Discusión general	77
VIII	Conclusiones	80
IX	Literatura citada	81
X	Apéndice	

Resumen

Los tepetates son capas endurecidas de origen volcánico, que se encuentran en algunos suelos y afloran al perderse la capa superficial. En México, las capas endurecidas ocupan 30% del territorio nacional. La problemática de los tepetates es debida a su bajo porcentaje de materia orgánica, fósforo, nitrógeno y a la dureza resultado de su cementación, lo cual impide el desarrollo de la vegetación. Para que se puedan desarrollarlas especies vegetales es necesario que se presente un arreglo de las partículas formando agregados, los cuales permiten un crecimiento adecuado de las raíces, buena aireación debido a la presencia de poros, así como movimiento de agua, etc.

Por lo que el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de especies vegetales, abono y fertilizante, sobre la formación y estabilidad de agregados, las características químicas y la relación entre el contenido de materia orgánica y la agregación, en tepetate fragmentado.

El experimento se realizó en condiciones de invernadero, con tepetate del Municipio de Tetela Del Volcán, Estado de Morelos. Se utilizaron dos especies vegetales: higuera (Ficus carica L) y pasto Rhodes (Chloris gayana, Kunth), así como estiércol de bovino y fertilizante.

Las características químicas que se cuantificaron fueron: pH, materia orgánica, bases intercambiables (Na, K, Ca y Mg), capacidad de intercambio catiónico total y saturación de bases. Se presentó una tendencia hacia la neutralidad del pH, así como un incremento altamente significativo en el porcentaje de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y las bases intercambiables, lo cual se reflejó en un incremento en la saturación de bases.

Por lo que respecta a las características físicas del tepetate, se evaluó la cantidad de agregados y su estabilidad. Debido a que el tepetate carece de agregados, se pudo observar que con el paso del tiempo, las enmiendas y la presencia de especies vegetales, favorecieron procesos de disgregación y posterior formación de agregados. La presencia de especies

vegetales y el tiempo favorecieron la estabilidad de los mismos, no así las diferentes enmiendas.

Los tratamientos con planta presentaron una mejor agregación con respecto a los testigos, siendo mejor con el pasto, con el cual, el incremento de agregación fue mayor. Los agregados más estables se encontraron en el intervalo de 3.0-5.0 mm. En el caso de las enmiendas, tanto el estiércol como el fertilizante, contribuyeron a incrementar el porcentaje de agregación. La estabilidad de los agregados presentó el mismo comportamiento que la agregación, pero además se encontró una relación con el incremento en materia orgánica, presentándose una mayor estabilidad en los tratamientos con estiércol.

De manera general, las especies vegetales, el abono y el fertilizante, son factores que modifican de manera positiva las propiedades químicas y físicas del tepetate, principalmente debido a que incrementan el contenido de materia orgánica a lo largo del tiempo.

I Introducción

Dentro del territorio mexicano está representada la mayoría de los suelos que se han identificado en el mundo, esto debido a las diferentes condiciones que prevalecen en nuestro país, como las orográficas, altitudinales, climáticas, topográficas y vegetación.

Uno de los principales problemas del suelo es la erosión, la cual origina la pérdida de los horizontes del suelo, por lo general se ve incrementada, por un mal manejo de las zonas que son utilizadas para la agricultura y ganadería. La mayoría de los terrenos con cultivos de temporal se encuentran en pendientes de medias a fuertes, lo que provoca que el suelo se pierda por efecto de las lluvias, dejando el lugar improductivo; en algunos sitios, la capa de suelo es poco profunda o incluso no se encuentra presente y el material que aflora algunas veces es lo que se conoce como tepetate.

Los tepetates son capas endurecidas, que se encuentran en el perfil de algunos suelos y que por sus características, impiden el desarrollo de la vegetación. Debido a su dureza, no permiten el crecimiento de las raíces, ni la entrada de agua y aire, además por su contenido bajo de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y baja porosidad efectiva, impiden una buena aireación, así como también un buen drenaje, ocasionando problemas para el establecimiento de los organismos.

Para poder establecer especies vegetales en el tepetate y transformarlo en un recurso productivo, es necesario darle un manejo adecuado, ya que por las características que presenta no permite el desarrollo de especies vegetales. Así como de técnicas de roturación, adición de estiércol y fertilizante, se puede ayudar a formar estructura y como consecuencia, a que algunas características físicas, químicas y biológicas cambien y mejoren las condiciones para que se puedan cultivar las plantas.

II REVISION DE LITERATURA

2.1. TEPETATE

2.1.1 Definición y tipos

La palabra "tepetate" deriva del náhuatl *tepétlatl*, vocablo compuesto por las raíces *tetl* que significa piedra y *petlatl*, petate; por lo que el significado etimológico es "petate de piedra". Sánchez *et al.*, (1987) mencionan que los aztecas tenían una clasificación del suelo básicamente por color y dureza, entre ellos se encontraba el término tepetate para referirse a un material duro y compacto que representa un obstáculo en las labores agrícolas, sobre todo cuando se encuentra a poca profundidad.

El término tepetate incluye varios materiales que tienen en común diferentes niveles de cementación, que pueden ser desde muy débiles hasta extremadamente fuertes, o grados de compactación que varían de medios a fuertes (Flores *et al.*, 1991). Los tepetates se conocen en función de los cementantes y la compactación. Cuando la cementación es por sílice se les llaman duripanes; cuando es por carbonatos, petrocálcicos; si es por sulfato de calcio, pretogípsicos; por sesquióxidos, plintitas; y cuando es por compactación y cementación por sílice ligera, fragipanes (Flores *et al.*, 1991).

Petrocálcicos

Estas capas están fuertemente cementadas por carbonatos de calcio (CaCO_3) principalmente, aunque pueden existir en menor escala, carbonatos de magnesio (MgCO_3) o pequeñas porciones de sílice; es un estrato generalmente continuo y muy duro. Se aprecia en el campo como una masa compacta de color blanquecino o amarillo claro, que se fragmenta en forma laminar, no se aprecian restos de raíces. Deberá estar cementado en toda su extensión, predominantemente por carbonatos de calcio y presentar un espesor de 10 cm o más (Guerrero *et al.*, 1992)

Duripanes

Se refiere a capas fuertemente cementadas por sílice (SiO_2), que pueden estar expuestas superficialmente o dentro de los primeros 100 cm de profundidad del suelo. Su color va de café claro a amarillento, inclusive algo rojizo. Una de las cualidades de los duripanes es que no son fáciles de romper. Se aprecia como una masa continua y compacta, aunque al estar expuesta puede adquirir una forma columnar o tiende a fragmentarse en bloques de dimensiones variables, por la acción de cambios de temperatura y humedad. También hay presencia de agentes cementantes secundarios como óxidos de hierro y carbonatos de calcio, estos últimos se presentan en pequeñas capas de forma laminar, principalmente en la superficie (Guerrero *et al.*, 1992).

Petrogípsicos

Se refiere a aquellas capas cementadas por sulfatos de calcio (CaSO_4), pueden existir agentes cementantes accesorios como carbonatos de calcio (CaCO_3). Su color es blanco, son duros a tal grado que las raíces no pueden penetrar. No se disuelven en el agua, cuando se fragmentan es en forma de bloques angulosos de diferentes tamaños (Guerrero *et al.*, 1992).

Fragipán

Se define como 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 y en estado húmedo es frágil. Se forma a partir de materiales de origen volcánico, que sufren procesos diagenéticos y pedogenéticos muy específicos (Flores *et al.*, 1992).

Plintita

Los cementantes son sesquióxidos (Fe_2O_3 y Al_2O_3); en estos materiales la coloración varía de amarillo muy claro hasta rojo intenso. La cementación por sesquióxidos es un mecanismo muy contrastante, ya que están involucradas diferentes clases de cementación. Interviene principalmente la segregación de hierro, bajo la influencia de una lámina de agua fluctuante, la cual crea condiciones alternantes de oxidación y reducción. Los sesquióxidos primero forman moteados rojos suaves, que no endurecen irreversiblemente en el secado (Flores *et al.*, 1991).

Flores *et al.* (1996) mencionan que el proceso para explicar la dinámica de la cementación de los suelos volcánicos es: 1) la consolidación de las partículas minerales, que provoca compactación; 2) el endurecimiento del material piroclástico en el momento de su depósito (naturaleza ígnea); y 3) cementación por procesos pedológicos (sedimentarios) que producen cementantes en solución.

El tepetate que predomina depositado en centro y oeste de México se originó apartir del flujo masivo de eyecciones volcánicas, las cuales se endurecieron en grandes depósitos (Nimlos y Hillery, 1990). La dureza de estos materiales está dada por dos procesos: la consolidación que ocurre durante el depósito y la pedocementación con sílice y carbonato de calcio que se presenta como una cementación secundaria.

Nimlos (1989) menciona que las costras sílico-cementadas probablemente son los tipos de endurecimiento más comunes de América Latina, especialmente en suelos derivados de cenizas volcánicas. En algunos casos, las costras sílico-cementadas son claramente pedogenéticas: se produce eluviación de la sílice en un horizonte superior e iluviación en uno inferior, en donde cementa al horizonte. Pero como su solubilidad es baja, suele encontrarse como cemento sólo en materiales muy antiguos. Un caso en el que la solubilidad de la sílice es relativamente alta, es el de la ceniza volcánica. La sílice amorfa es mucho más soluble que el cristal, por lo cual las costras sílico-cementadas se forman más rápidamente en cenizas

volcánicas que en otros materiales, bajo condiciones semejantes. Pero la génesis es complicada porque algunos endurecimientos son claramente mas geológicos que pedogenéticos (Nimlos, 1989).

El endurecimiento geológico (consolidación) está en función del flujo de temperatura y compactación durante la depositación. En la base del grueso flujo, donde las temperaturas son particularmente altas y la compactación es considerablemente alta, la sílice se encuentra fundida dentro de la densa roca y es llamada "toba soldada". Si el flujo de temperatura es moderado y la compactación es mínima, ocurre una baja consolidación (Nimlos y Hillary, 1990).

En América Latina y Japón, los suelos volcánicos endurecidos se denominan localmente de varias maneras (Tabla 1), pero estos nombres no son consistentes en cuanto al origen y tipo de material (Etchevers y Ferrera-Cerrato, 1994).

Tabla 1. Nombres locales de las capas endurecidas

Lugar	Nombre
México	Tepetate
Nicaragua	Talpetate
Ecuador	Cangahua
Perú	Sillares
Chile	Terteles, Fierrillo
Japón	Masa, Kora, Nigatsuchi

Fuente: Etchevers y Ferrera-Cerrato (1994)

2.1.2 Distribución en México

Los suelos de origen volcánico ocupan cerca de la cuarta parte de la superficie de los países andinos de América Latina. Su extensión es igualmente importante en los países costeros del Pacífico Occidental, sobre todo en Japón, Filipinas, Indonesia, Nueva Guinea y Nueva Zelanda, así como en ciertos archipiélagos del Atlántico, del Océano Indico, del Pacífico y del Mediterráneo (Quantin, 1997).

Flores *et al.* (1991) mencionan que en México las capas endurecidas ocupan un 30% de su superficie total (Figura 1). Su presencia se conoce desde hace mucho tiempo, así como la problemática que presentan para la agricultura, ya que desde hace más de 100 años los Tlaxcaltecas conocían la forma de convertir las zonas con tepetates en zonas agrícolas. Ruiz (1987)

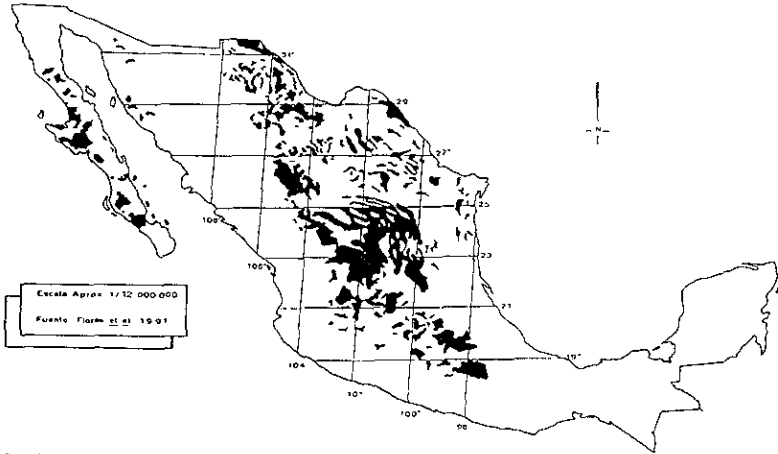


Figura No. 2. Distribución de tepetates en la República Mexicana

Figura 1. Distribución de los tepetates en México (Flores *et al.*, 1991)

Guerrero *et al.* (1992) mencionan que la república Mexicana tiene una extensión superficial de 1,958,201 km², de los cuales, aproximadamente en 183,685 km² se manifiesta la presencia de algún tipo de tepetate (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentajes de superficie de la República Mexicana con algún tipo de tepetate

Tepetate	Km ²	Hectáreas	%
Petrocálcico	139,518	13,951,800	9.38
Duripán	37,247	3,724,700	1.90
Petrogípsico	6,920	692,000	0.35
Totales	183,685	18,368,500	11.63

Fuente: Guerrero *et al.* (1992)

2.1.3 Importancia

El tepetate aflora al perderse la capa de suelo que hay sobre él, la pérdida, se da por erosión eólica e hídrica, la cual se ve favorecida por las pendientes de los lugares en los que se encuentra. Se presenta un rápido arrastre de los sedimentos, que deja el tepetate al descubierto, como resultado del drenaje lateral dado por su dureza, que no permite que el agua penetre de forma adecuada y por lo tanto facilita la erosión. Flores *et al.* (1991), mencionan que la cementación de los horizontes constituye una forma grave de degradación que impide el desarrollo radical de las plantas, tanto cultivadas, como las de zonas poco alteradas.

Una de las causas que favorece el incremento de la erosión y por lo tanto, la presencia del tepetate en algunas zonas, es el mal manejo de éstas, ya que son utilizadas para la agricultura y ganadería, no obstante que las condiciones no son favorables para estas prácticas, debido a la pendiente que se presenta. Una vez que el tepetate queda expuesto, la zona se transforma en improductiva.

Arias (1992), menciona que las limitantes para el uso de los tepetates son cuatro: su dureza, retención de agua, fertilidad y manejo. La dureza impide el desarrollo radical de las plantas y su crecimiento, así como dificulta las labores agrícolas. La baja porosidad no permite una buena retención de agua y favorece el drenaje horizontal, lo que permite que el suelo se erosione. La falta de materia orgánica y nitrógeno no permiten el crecimiento adecuado de las plantas y por último, su manejo, ya que deben aplicarse técnicas agrícolas adecuadas, debido a que se presentan en lomeríos por lo que se debe de evitar la erosión del material para que se forme suelo.

El tepetate es pobre en materia orgánica, por lo que, para establecer en él especies vegetales, es necesario primero fragmentarlo con el fin de mullirlo. El tamaño final de los fragmentos es importante, ya que las partículas no deben obstaculizar la emergencia de las plantas y evitar la asfixia. El tamaño de las partículas del suelo debe estar comprendido entre

0.5 y 8 mm para que los suelos cuenten con aireación y capacidad de retención de agua (Zebrowski, 1992).

El nitrógeno, cuando falta, es el elemento que más restringe el crecimiento de las plantas en los tepetates habilitados. Esto, por la casi nula presencia de reservas orgánicas en esos materiales, lo que se refleja en una reducción de la biomasa microbiana. La escasez de reservas orgánicas se explica, en condiciones naturales, porque los tepetates son incapaces de soportar un crecimiento sostenido de las plantas, principalmente por razones de índole física. Estos materiales poseen una estructura que no permite almacenar agua en cantidades suficientes y presentan, además, gran resistencia a la penetración de raíces, lo cual se traduce en un pobre crecimiento de las plantas y, consecuentemente, en un escaso aporte de residuos frescos al suelo. Una vez que las restricciones físicas son superadas mediante prácticas de roturación la principal limitante es de carácter nutrimental (Pérez *et al.*, 2000).

El tepetate limita la penetración de las raíces, reduce el paso del agua al subsuelo y provoca el drenaje lateral, que conlleva la pérdida de componentes minerales del suelo y la erosión del mismo, afectando así a los cultivos que se podrían presentar en los lugares con tepetate. Para que pueda haber un buen desarrollo vegetal, es indispensable que se presente una estructuración del suelo, la cual es el arreglo de las partículas, dentro de un orden jerárquico, lo que determina porosidad, tamaño de la distribución de los poros y su continuidad (Nadier, 1993).

El laboreo y la fertilización de los tepetates se conocen desde tiempos prehispánicos, a través del relleno con suelo fértil, o preparando el terreno con el rompimiento de la costra superior y la pulverización de terrones y fertilización, a través de la quema de hojas de maguey y su incorporación al suelo (Arias, 1992). La recuperación y la incorporación de los suelos volcánicos endurecidos a un sistema de agricultura sostenible requieren de un manejo integral en el que se consideren las propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

Se han llevado a cabo estudios en los que se proponen algunas soluciones para poder incorporar el tepetate a la producción, estos tratamientos incluyen roturación, nivelación,

construcción de terrazas, construcción de bordes en los que se siembra nopal o maguey, surcos en contorno, reforestación, cultivos en rotación, cultivo en franja, incorporación de materia orgánica y fertilizantes químicos para mejorar su nivel nutrimental e iniciarlos en la producción agrícola (Etchevers y Ferrera, 1994).

En estudios realizados en invernadero con tepetate fragmentado del municipio de Tetela del Volcán, Morelos (Velázquez, 1994 y 1997), observó que las especies vegetales influyen en la estructuración del material. La fragmentación es propiciada por la fuerza de penetración de las raíces y la adición de materia orgánica, resultado de su metabolismo o descomposición de sus restos, de esta manera se incrementa la formación de cementantes y compuestos orgánicos que ayudan a la unión de la fracción mineral, dando lugar a la formación de complejos órgano-minerales estables.

2.2 ABONOS

Los abonos son materiales orgánicos de gran volumen, principalmente residuos vegetales y excretas animales, que se incorporan al suelo directamente o después de algún tiempo de procesados. Los contenidos de nutrimentos varían en cada tipo de estiércol como se puede ver en la Tabla 3.

Tabla 3. Contenido nutrimental de algunos abonos

Producto	Materia seca (%)	Contenido de elementos nutritivos en kg/t de producto					Reacción ácida(A) o básica (B)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ 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
Purinez	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

2.2.1 Tipo

Estiércol sólido: era antiguamente el abono de granja más importante. El estiércol sólido se compone principalmente de excrementos, una pequeña parte de orina y paja. Los principales productores son el ganado vacuno, porcino y aviar. El efecto del estiércol sobre la producción vegetal es la suma de su influencia como enmienda del suelo y sus efectos nutritivos (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 de lluvia (Finck, 1988).

Estiércol semilíquido es una mezcla de excrementos y orina a la que se añade una cierta cantidad de agua para facilitar su transporte y distribución (Domínguez, 1997).

Composta: es un producto de la descomposición de residuos vegetales y animales, con aditivos diversos. Este grupo de materiales es el más amplio de los abonos orgánicos; comprende desde materiales procedentes del basurero, hasta sustratos perfectamente preparados, con una alto poder fertilizante (Finck, 1988).

El abono verde utiliza plantas verdes enteras, o solamente residuos, en cuyo caso se utiliza la parte verde aérea como forraje. Para el abono verde se utilizan las leguminosas (Domínguez, 1997).

2.2.2 Importancia

Los abonos ayudan a la incorporación de materia orgánica al suelo, a una mejor actividad microbiana, representan una fuente de alimento y energía. Ayudan a mejorar la estructura del suelo. Aportan diferentes cantidades de sustancias nutritivas (Finck, 1988). Simpsom (1991) menciona que los estiércoles tienen dos funciones, aporte de materia orgánica al suelo, que gran parte se pierde por transformarse en dióxido de carbono, aunque parte de la misma se transforma en humus. También aporta a las plantas una diversidad de nutrimentos derivados de los residuos de cosechas de las que proceden. Todos los estiércoles cooperan en mayor o menor grado al mantenimiento, tanto de la fertilidad duradera del suelo, como de su contenido de humus.

2.3 FERTILIZANTES

Los fertilizantes son productos destinados a la nutrición de las plantas, son sustancias que se aplican directa o indirectamente, para favorecer su crecimiento, aumentar su producción o mejorar su calidad (Finck, 1988).

2.3.1 Tipos

Las plantas necesitan nutrimentos principales, de ahí que existan los fertilizantes minerales simples, correspondientes a estos nutrimentos.

Fertilizantes nitrogenados: Son aquellos productos químicos inorgánicos que contienen el elemento nutritivo nitrógeno en forma asimilable (especialmente como amonio o nitrato), o que lo suministran como producto de su transformación. La mayor parte de los fertilizantes nitrogenados se producen sintéticamente, a partir del nitrógeno del aire, vía síntesis del amoníaco (Finck, 1988).

Fertilizantes fosfatados: son productos químicos que contienen fósforo asimilable en forma de anión fosfato, o lo producen por transformación. El grupo de fertilizantes fosfatados abarca una amplia gama de productos: desde sales solubles, pasando por otras insolubles pero fácilmente movilizables, hasta materiales poco solubles, que sólo se movilizan en condiciones localizadas y determinadas. Los materiales para su producción son, sobre todo, los fosfatos naturales de diversos yacimientos, los minerales que contienen fosfatos y otros compuestos fosfatados (Simpson, 1991).

Fertilizantes potásicos: son sustancias químicas que contienen el elemento nutritivo potásico (K) en la forma asimilable de catión potásico, o que suministran cationes K^+ por transformación. Son predominantemente sales solubles en agua (Finck, 1988).

2.3.2 Importancia

Los fertilizantes principalmente ayudan al aporte de nutrimentos al suelo, para que mejore la calidad del producto, así como en su rendimiento. Con la aplicación del uso de fertilizantes se puede mejorar la fertilidad del suelo, pero se debe tener cuidado en los productos que se aplican, así como la técnica de aplicación ya que sino se tiene cuidado se puede perjudicar en lugar de mejorar. La aplicación de fertilizantes influye en las condiciones del suelo, ya que pueden observarse diferentes reacciones, dependiendo del tipo de suelo, las condiciones del lugar, cultivo y tipo de fertilizante. El buen o mal crecimiento de las especies vegetales por efecto del fertilizante influirá en las condiciones del suelo (Simpson, 1991)

2.4 AGREGACION

2.4.1 Definición

El suelo consiste de partículas de arena, limo y arcilla, unidos en agregados de diferentes tamaños por material orgánico e inorgánico (Tisdall, 1994).

Un agregado es un grupo de dos o más partículas primarias, las cuales se unen, una a otra, más fuertemente que con las partículas de su alrededor. La distribución del tamaño de los agregados del suelo es importante porque determina la susceptibilidad al movimiento (erosión) por viento y agua, y el tamaño de los poros en suelos cultivados. Los poros, a su vez, afectan el movimiento y distribución de agua y aire en el suelo, los cuales son factores que influyen en el crecimiento de las plantas (Kemper y Chepil, 1965).

Oades (1993), define a la estructura del suelo, como el arreglo de partículas y asociación de poros de tamaños diferentes, que se encuentran en un intervalo de nanómetros a centímetros. También se define la estructura del suelo como el arreglo de las partículas primarias dentro de una estructura jerárquica, la cual determina porosidad, distribución del tamaño de poro y continuidad del sistema poroso. Estas propiedades afectan el transporte de agua, solutos y fertilizantes, así como la aireación y el crecimiento de las raíces (Nadler, 1993).

Marshall *et al.* (1996) mencionan que el crecimiento de la planta puede retardarse severamente o totalmente impedirse por la estructura fina, la cual no favorece el movimiento del agua o aire y presenta resistencia a la emergencia de la plántula y al crecimiento de las raíces. Una agregación pobre del suelo confina el contenido de agua con el cual las plantas crecen satisfactoriamente.

2.4.2 Factores que determinan la agregación

El arreglo estructural depende del tamaño, la distribución de las partículas y de las fuerzas que afectan su arreglo, como son: contracción-expansión, congelamiento-deshielo, movimiento de agua, crecimiento y pudrición de las raíces, así como la acción de las lombrices entre otros animales. Procesos químicos y biológicos movilizan y depositan materiales que se unen entre sí para formar los agregados (Marshall *et al.*, 1996).

Las mayores fuerzas involucradas en la formación de estructura, son las fuerzas físicas creadas por humedecimiento y secado, las cuales se incrementan con el contenido de arcilla del suelo. Sin embargo, las raíces y los organismos también ayudan a la estructuración del suelo de manera directa e indirecta. El papel más importante de los organismos es la estabilización de la estructura (Oades, 1993).

Tisdall y Oades (1982) presentan un modelo conceptual que explica la agregación jerárquica, el cual describe como las partículas minerales primarias son unidas entre sí por bacterias, hongos y plantas en microagregados. Estos microagregados vuelven a unirse por agentes cementantes transitorios y temporales que forman macroagregados. Tres consecuencias de este modelo son: 1) un gradual rompimiento de los macroagregados en microagregados, antes de disociarse en partículas primarias, 2) un incremento en la concentración de carbono con incremento de las clases de tamaños de agregados, porque las clases de macroagregados son compuestas por microagregados unidos por agentes cementantes y 3) la materia orgánica más lábil está contenida mayormente en macroagregados que en microagregados (Six *et al.*, 2000)

2.4.2.1 Físicos

La ruptura y debilidad de la superficie separa de forma natural los agregados, esto debido probablemente, al movimiento del suelo al contraerse y expandirse (Marshall *et al.*, 1996). Esto se puede presentar debido a los períodos de sequía y humedad, congelamiento y deshielo que se presentan en los diferentes lugares.

2.4.2.2 Químicos

La mineralogía de las arcillas influye en procesos de erosión, pero el efecto es difícil de evaluar porque los suelos casi siempre contienen diferentes minerales. Es probable que las interacciones hierro-caolinita produzcan fuerzas de cohesión fuertes, comparadas con las interacciones arcilla-arcilla que corresponden a esmectita, la cual tiene menos fuerza de cohesión. Otro mecanismo de rompimiento de agregación, es la dispersión química, la cual depende de la mineralogía de las arcillas, junto con la composición de iones intercambiables y concentración de electrolitos del suelo (Le Bissonnais, 1995).

La naturaleza y cantidad de cationes intercambiables, por su efecto de dispersión y floculación de arcillas, influye en la agregación del suelo. El efecto está relacionado con la mineralogía de las arcillas. La dispersión físico-química resulta de la reducción de las fuerzas de atracción entre las partículas coloidales en húmedo. Se ha encontrado que el incremento en el porcentaje de sodio intercambiable causa más dispersión, pero el efecto varía entre los diferentes suelos. La estabilidad de los coloides depende de la interacción entre las fuerzas de atracción de Van Der Waals y la repulsión eléctrica, por lo que la estabilidad o dispersión de los cationes depende de su tamaño y valencia. Por esto los cationes pueden clasificarse en el siguiente orden según su capacidad estabilizadora: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$ (Levy y Van Der Watt, 1990).

Los sesquióxidos actúan en la interacción de las partículas de arcilla-polímeros orgánicos. La materia orgánica y el hierro juntos, crean condiciones que ayudan a la estabilidad de los agregados. El hierro y el aluminio en solución, actúan como floculantes en bajo potencial z o iónico de arcilla, previniendo dispersión, igual que el calcio en otros suelos. El hierro y el aluminio pueden comportarse diferente en condiciones variables de pH, minerales de arcilla, clima, materia orgánica y composición de la solución del suelo. Por lo que se debate, si el hierro o el aluminio es más importante en la agregación de las partículas del suelo. El Aluminio parece ser eficiente por que su solubilidad es alta en un amplio rango de pH, pero se encuentra en menores cantidades en el suelo que el hierro (Le Bissonnais, 1995).

2.4.2.3 Biológicos

La materia orgánica es un compuesto constituido por elementos como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo entre otros. Provenientes de restos de plantas, microorganismos y animales parcialmente descompuestos, los cuales sufren transformaciones y se van acumulando en el suelo (Primavesi, 1982; Bohn *et al.*, 1993; Stevenson, 1994).

Stevenson (1994) menciona que la materia orgánica incluye: 1) el litter, que es la materia orgánica que se encuentra en la superficie de los suelos; 2) la fracción ligera, constituida principalmente de residuos de plantas en varios estadios de descomposición; 3) los orgánicos solubles, que se encuentran en la solución del suelo; 4) la biomasa microbiana de los organismos que se encuentran en el suelo y 5) el humus, el cual es la materia orgánica ya estabilizada.

Tamhane *et al.* (1978), mencionan que la materia orgánica influye en las propiedades del suelo de las siguientes maneras:

- ◆ La materia orgánica gruesa, en la superficie, disminuye el impacto de las gotas de lluvia
- ◆ La adición de residuos orgánicos fácilmente degradables, da lugar a la síntesis de sustancias orgánicas complejas que ligan las partículas del suelo en unidades llamadas agregados
- ◆ Incrementa la capacidad de retención de agua
- ◆ Sirve como depósito de elementos químicos que son esenciales para el desarrollo de las plantas
- ◆ Al descomponerse, se producen ácidos orgánicos y bióxido de carbono, que ayudan a disolver minerales
- ◆ Ayuda a controlar cambios rápidos de pH, actuando como buffer
- ◆ El humus proporciona un almacén para los cationes (K, Ca, Mg)
- ◆ Sirve como fuente de energía a los organismos del suelo
- ◆ Ayuda a evitar la erosión

La adición frecuente de residuos orgánicos de fácil y rápida descomposición, conduce a la síntesis de compuestos orgánicos complejos (polisacáridos), que aglutinan las partículas del suelo en grandes agregados. La asociación de las partículas de tamaño de arcilla con el humus, vía puentes de cationes (calcio, aluminio, magnesio, hierro), también propicia esta agregación (Bohn *et al.*, 1993).

Stevenson (1994) menciona que los constituyentes orgánicos pueden influir en la agregación del suelo de tres maneras:

- ◆ Actúan como agentes de unión entre las partículas de arcilla, de las siguientes maneras:
 - Por adsorción de la superficie de las arcillas
 - Por medio de cationes y aniones intercambiables
 - Por cationes polivalentes (arcilla-metal-humus)
 - Por puentes de hidrógeno,
 - Por fuerzas de Van der Waals.
 - Por penetración en los espacios interestructurales de expansión de las arcillas.
- ◆ Mediante la formación de capas de geles orgánicos, como los polisacáridos, que recubren a las unidades del suelo o actúan como cementantes
- ◆ Las hifas fúngicas y las raíces de las plantas unen a las partículas del suelo físicamente.

Las raíces de los pastos ayudan a la estabilización del suelo. Sus raíces fasciculares presionan y separan a las partículas del suelo durante el crecimiento. Este tipo de raíces se ramifican completamente, separando unas partes y comprimiendo otras y, al morir, incorporan materia orgánica al suelo (Marshall *et al.*, 1996).

Marshall *et al.* (1996), mencionan que las hifas de los hongos enrollan o empaquetan las partículas y ayudan a la agregación. Adicionalmente, algunos de los productos de su descomposición y metabolismo, así como la materia orgánica producida por microorganismos, actúan como agentes cementantes. Esto incluye polisacáridos, cuya larga y flexible molécula,

une partículas al formar un puente entre ellas. Los polisacáridos son descompuestos fácilmente por microorganismos, pero pueden constituir una parte considerable de la materia orgánica.

2.4.3 Estabilidad

Le Bissonais (1995) menciona que la estabilidad de los agregados puede definirse como la resistencia de la estructura del suelo a la lluvia, la cual está estrechamente relacionada con las características primarias del suelo, pero no es una simple relación entre la estabilidad de los agregados y las características del suelo, sino que influyen otros factores. Haynes y Beare (1997), mencionan que la resistencia de los agregados del suelo a los efectos dispersantes del agua (estabilidad de los agregados), es importante para mantener la estructura porosa en suelos arables. Mecanismos involucrados en el mantenimiento de agregados estables del suelo incluyen el efecto fuerte de unión de los polímeros húmicos, el efecto de pegado y unión de polisacáridos y la compactación por efecto de raíces e hifas.

Tisdall y Oades (1982) mencionan que las raíces y las hifas estabilizan a los macroagregados, definidos como mayores de 250 μm de diámetro. Los macroagregados son controlados por el manejo, de igual forma, influyen en el crecimiento de las raíces de la planta y la oxidación del carbono orgánico. La estabilidad de los microagregados (diámetro menor de 250 μm) en agua, depende de la persistencia de agentes cementantes orgánicos. Los agentes cementantes orgánicos involucrados en la estabilización de los agregados pueden considerarse en tres grupos, basados en la edad y degradación de la materia orgánica y no en la proporción de los componentes químicamente definidos. Estos determinan la edad, tamaño y estabilidad de los agregados. Los tres grupos que se consideran son:

1) Los agentes transitorios, son materiales orgánicos que son descompuestos rápidamente por microorganismos. El grupo más importante es el de los polisacáridos, que incluyen polisacáridos microbianos producidos en varios materiales orgánicos, los cuales son incorporados al suelo y algunos están asociados con raíces y biomasa microbiana en la

rizósfera. Los polisacáridos son producidos rápidamente, pero también son degradados fácilmente, y se asocian con la estabilidad transitoria de los macroagregados (>250 μm diámetro).

2) Los agentes temporales, son las raíces y las hifas, particularmente vesículo-arbustivas, hifas micorrícicas. Estos agentes se encuentran en el suelo pocas semanas o meses como los sistemas de raíces y asociaciones con las hifas. Los agentes temporales son asociados con pequeños macroagregados y pueden ser comparados con el esqueleto orgánico de los granos

3) Los agentes persistentes se originan de la degradación de materiales húmicos 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 bacterias desarrolladas en la rizósfera.

La materia orgánica es uno de los más importantes y conocidos agentes estabilizadores de los agregados. Ekwue (citado por Le Bissonais, 1995), encontró una relación positiva entre la materia orgánica y la estabilidad de los agregados en suelo con pastos. Sus resultados ilustran que la materia orgánica afecta en la estabilidad de los agregados a través de la interacción arcilla-materia orgánica y la acción cementante de los polímeros, así como la protección física de la cobertura en la superficie del suelo y por eso se favorece la infiltración.

Un modelo que puede ayudar a entender las interacciones entre las partículas del suelo, la planta y la materia orgánica en la formación y estabilidad de los agregados, es el propuesto por Jastrow y Miller (1998). En este modelo, el mecanismo de agregación, estabilización y su importancia relativa, cambian con la escala espacial. Las partículas primarias y las arcillas microestructurales son unidas entre sí con fragmentos de bacterias y hongos en microagregados extremadamente estables (2-20 μm de diámetro), los cuales pueden unirse por fragmentos de plantas y hongos, formando microagregados más grandes

(20-250 μm de diámetro). 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, fortalecidas por puentes de cationes polivalentes. Los microagregados son unidos en macroagregados (< 250 μm de diámetro) por agentes transitorios y por agentes temporales. Como los macroagregados incrementan su diámetro, los agentes transitorios que aparecen son menos importantes, y los agentes temporales generalmente, incrementan su importancia.

2.5 ESPECIES VEGETALES

Las especies vegetales, como ya se mencionó, intervienen en la formación y en la estabilidad de los agregados por lo que, en el experimento, se utilizaron dos especies con características diferentes.

2.5.1 Higuera (Ficus carica L.)

Descripción

Arbol o arbusto caducifolio, de hasta 9 metros de altura presenta numerosas ramas gruesas, glabras, extendidas o ascendentes, copa gruesa redondeada o aplanada, sombra media, se ramifica a poca altura del suelo con un número variable de ramas, es de rápido crecimiento, vive de 30 a 40 años. Su sistema radical es axonomorfa. En suelo permeable las raíces pueden descender a 6 m, el 80% se encuentra entre los 20 y 45 cm (Martínez y Chacalo, 1994).

Distribución

La higuera se considera una especie cosmopolita y se cultiva en varios estados de la república, Baja California Norte y Sur, Distrito Federal, Hidalgo, Michoacán, Morelos, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (Vázquez *et al.*, 2000).

Origen

Originaria de Asia sudoccidental, de climas templados a cálidos, en la actualidad crece en forma espontánea en la zona mediterránea. En los trópicos propiamente dichos, la higuera se desarrolla en altitudes relativamente elevadas (900 a 1800 m). Los árboles crecen bastante bien en las tierras bajas de los trópicos, pero rara vez producen fruta.

Hábitat

Se ve favorecida por los climas de invierno benignos y veranos calurosos con poca precipitación. Requiere una temperatura media anual de 17 a 19°C y una precipitación anual de 900 a 1200 mm. Arbol poco exigente en cuanto a suelos, ya que se desarrolla en las tierras notablemente fértiles, a las más ingratas, se desarrolla en todas ellas mientras ofrezcan un suelo profundo y más bien de naturaleza seca que húmeda, por ser sus raíces muy sensibles a la humedad del suelo, siendo indiferente la acidez o a la alcalinidad. No obstante crece mejor en suelos permeables y bien drenados (Vázquez *et al.*, 2000).

Usos

La higuera podría ser considerada por su gran utilidad dentro de programas de reforestación productiva. Es capaz de habilitar entornos ya muy deteriorados y mejorar la calidad del suelo, es utilizada como plantación urbana. Se han probado sistemas agroforestales consistentes de hileras enteras de higuera distantes entre sí, plantando los árboles con 10 m de separación. Se utiliza para: 1. Conservación de suelos y control de erosión. 2. Estabiliza los suelos a través del desarrollo de su sistema radical extensivo 3. Recuperación de terrenos degradados. Su adaptabilidad a condiciones adversas y el desarrollo de sus sistema radical la hacen viable en los procesos de rehabilitación. Se ha empleado para rehabilitar sitios donde hubo explotación minera. 4. Barrera rompe vientos. 5. Ornamental. 6. Ofrece abundante y constante producción de frutos. 7. Las hojas son alimento para el ganado, en algunos lugares el látex del tronco se usa para coagular la leche (Vázquez *et al.*, 2000)

2.5.2 Pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth)

Descripción

Pasto perenne o anual, estolonífero, presenta hojas glabras de 15-50 cm de alto y 2-20 mm de ancho, en los estolones la hoja es corta y forman grupos de dos o cuatro, su tallo es fino, de 0.5 a 2.0 m de altura, presenta coloración verde y cuando madura se torna café, inflorescencia de 6 a 15 espigas, cada una de 5 a 10 cm de longitud (Bogdan, 1977).

Distribución

En forma natural se encuentra en la mayoría de las áreas tropicales y subtropicales de África, en pastizales abiertos, con arboles o arbustos, márgenes de lagos o en planicies inundadas estacionalmente, en una altitud de 660 a 2000 m. Frecuentemente es un pasto pionero en terrenos abandonados o sin cultivar, sigue a las malas hierbas en la sucesión de plantas. Se propaga por estolones o por la germinación de su semilla (Bogdan, 1977).

Hábitat

El Pasto Rhodes prospera bajo un amplio rango de temperatura, siendo 35°C la óptima, requiere de 10 a 14 horas de luz para su buen desarrollo. A pesar de que prospera bajo amplias condiciones de lluvia y responde bien a la irrigación en áreas secas, es relativamente resistente a la sequía y puede crecer bajo condiciones anuales de lluvia, de alrededor de 600 mm, pero no por debajo de este nivel. Crece bajo diferentes condiciones de suelo, excepto en los muy arcillosos o muy ácidos, pero tolera condiciones alcalinas. Se desarrolla mejor en suelos de textura gruesa como lo son las cenizas volcánicas (Bogdan, 1977).

Usos

Tiene una gran tolerancia a la salinidad. Se puede establecer por estolones o por propagación de la semilla. Es efectivo en el control de la erosión ya que cubre rápidamente y persiste aún en condiciones de fertilidad baja (FAO, 2000). Se ha utilizado en rotación de cultivos en áreas tropicales y subtropicales, usado para establecimiento de Praderas (Duke, 1983).

III OBJETIVO GENERAL

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de especies vegetales, abono y fertilizante inorgánico, sobre la formación y estabilidad de agregados a partir de tepetate fragmentado, en condiciones de invernadero.

3.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar la formación de agregados por efecto de higuera (*Ficus carica*, L.), pasto Rhodes (*Chloris gayana*, Kunth), adición de fertilizante y estiércol de bovino en tepetate fragmentado.
2. Evaluar la estabilidad de los agregados formados en el tepetate fragmentado.
3. Relacionar el efecto de la materia orgánica agregada al tepetate, con la formación y estabilidad de los agregados.

IV HIPOTESIS

La aplicación de abono de bovino (materia orgánica), fertilizante inorgánico y las especies vegetales, favorecen la agregación y la estabilidad de los agregados en tepetate fragmentado.

V ZONA DE MUESTREO

5.1 Características generales

Flores *et al.* (1992,1996), mencionan que en el estado de Morelos se ubican zonas con tepetates, las áreas estudiadas se encuentran en una franja altitudinal que va de los 1500 a los 2000 msnm (Fig. 2). Velázquez (1997), menciona que en esta franja, quedan comprendidos once de los 32 municipios del estado, lo que lo convierte en uno de los estados con mayor área con tepetates y por lo tanto, con un alto riesgo de que la problemática asociada a su presencia se incremente.

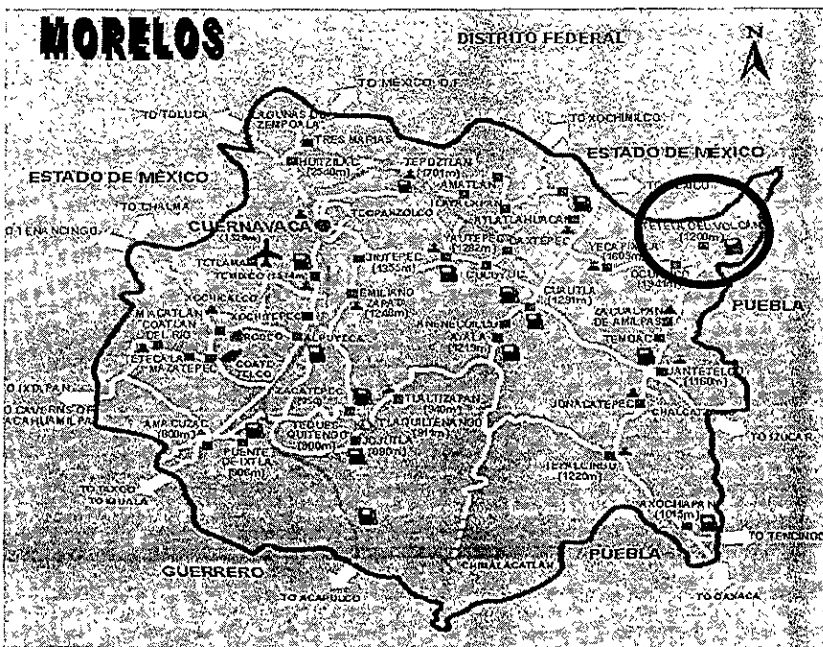


Figura 2. Localización de Tetela del Volcán en el Estado de Morelos.

Velázquez y Flores (1997), mencionan que el estudio de los tepetates de esta región y el establecimiento de metodologías de manejo adecuadas a su ambiente físico y cultural, reviste gran importancia, debido a la actividad agropecuaria característica del estado, en donde el 60% de la superficie territorial son tierras con vocación agrícola, el 4% de uso pecuario, el 10% forestal, destinándose sólo el 26% restante a otros usos.

Tetela del Volcán, se escribía Tetella o Tetetla, cuyas raíces etimológicas vienen de tete plural de te-tl, "piedra", y tla-n "lugar", que denota abundancia, y quiere decir "Donde hay muchas piedras, pedregal". Está situada en las estribaciones del volcán Popocatepetl, donde nace la Barranca profunda de Amatzinac, alimentada con los deshielos de dicho volcán (Instituto de Cultura de Morelos, 2000)

El municipio se ubica geográficamente a 18° 57' 48" de latitud norte y los 99° 15' 12" de longitud oeste, a una altura de 2,060 msnm. Tiene una superficie de 98.518 km², cifra que representa el 1.99 % del total del Estado. Limita al norte con el estado de México; al sur con Zacualpan; al este con el estado de Puebla y al oeste con Ocuilutco.

En el municipio se encuentra la corriente de la barranca de Amatzinac, que nace en las faldas del volcán Popocatepetl, ésta lleva un caudal permanente todo el año y su cuenca hidrológica abarca todo el municipio. El clima es húmedo y templado con invierno seco, con excepción de la parte norte, cuyo clima es típicamente de montaña. Se caracteriza por frecuentes precipitaciones, generalmente acompañados de granizo. La precipitación pluvial es de 1080 mm por año y el período de lluvias es de junio a octubre. De acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García (1988), el clima es Cb(m)(w)ig, templado húmedo, el más húmedo de los templados con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5.

El municipio pertenece al sistema formado por la cordillera del volcán Popocatepetl, cuya cima llega a los 5,452 metros. Las alturas más importantes localizadas en el municipio son: el cerro del Zempoaltépetl, que tiene 5,250 metros; le siguen en importancia el cerro del Gallo

con 2,750 metros y el de la Mina, al norte de la cabecera municipal. Las zonas accidentadas abarcan aproximadamente el 70% de la superficie municipal, éstas se encuentran en la parte sur y sureste, así como en la parte oeste y noroeste. Las zonas planas se localizan en la parte suróeste, así como en la parte oeste y noroeste del municipio.

El municipio cuenta con una superficie aproximada de 98.61 km², de los cuales, en forma general se utilizan: 3,035 ha para uso agrícola y 6,602 ha para uso forestal. En cuanto a la tenencia de la tierra, se puede dividir en: 3,574 ha propiedad ejidal, 3,275 ha propiedad comunal y 3,727 ha propiedad particular (INEGI, 2000).

La vegetación original, constituida por bosque de encino y de encino-pino, se encuentra sumamente perturbada debido a la deforestación de que ha sido objeto, para integrar zonas a la agricultura. Esta situación, aunada a las condiciones ambientales prevaletentes, la geoforma de lomeríos y cañadas de pendiente medias a fuertes y el establecimiento de plantas de ciclo corto, ha incrementado la susceptibilidad del suelo a la erosión, permitiendo el afloramiento del tepetate. Motivo por el cual, actualmente es posible observar en el municipio extensas áreas improductivas y abandonadas, en las que el tepetate aflorado está totalmente expuesto a los fenómenos erosivos (Velázquez, 1997).

5.2 Características del tepetate

El material utilizado para el experimento, pertenece al municipio de Tetela del Volcán, Morelos. Forma parte de la provincia geológica del eje neovolcánico, la cual pertenece al Cuaternario y está constituida por rocas ígneas extrusivas, basalto, toba y brecha volcánica (INEGI, 2000). Las características originales del material se presentan en la tabla 4.

Tabla 4 Características físicas y químicas del material en estado inicial

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS						
COLOR		DENSIDAD		TEXTURA		
SECO	HUMEDO	APARENTE	REAL	ARENA	LIMO	ARCILLA
		(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)	(%)
10YR6/4	10YR4/4	1.7	2.3	49.42	27.09	23.35
Pardo Am. Claro	Pardo Am. Oscuro				Franco	

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS									
pH (H ₂ O)	pH (KCl)	M. O	C	C.I.C.T.	Ca	Mg	Na	K	SAT. DE BASES
(1:2.5)	(1:2.5)	(%)	(%)	(cmol ⁺ kg ⁻¹)	cmol ⁺ kg ⁻¹	(cmol ⁺ kg ⁻¹)	(cmol ⁺ kg ⁻¹)	(cmol ⁺ kg ⁻¹)	(%)
7.1	5.72	0.33	0.19	22.67	11.5	7.17	1.28	0.96	92.37

El material utilizado es de tipo duripán (Velázquez, 1997), presenta un color pardo amarillento obscuro, en húmedo y pardo amarillento claro, en seco y una textura franca. Su densidad aparente es de 1.68 kg/m^3 similar a la encontrada por Marañón (1994) para tepetates de la misma zona.

Por lo que respecta a las características químicas, el pH en H_2O (1:2.5) es neutro y en KCl (1:2.5) presenta un valor de 5.72. La capacidad de intercambio catiónico es alta debido a la presencia de minerales amorfos. En cuanto a bases intercambiables, se tienen mayor cantidad de calcio y magnesio, similar a lo encontrado por Flores *et al.* (1992). El porcentaje de saturación de bases es alto. Por lo que se refiere a la materia orgánica, se presenta un bajo contenido, lo cual es una de las principales problemáticas del tepetate.

VI METODOLOGIA

6.1 Planteamiento General

Con base en la literatura y en estudios previos, se escogió la zona de Tetela del Volcán, Morelos, para la obtención del material, ya que es una zona en la que se presentan áreas con tepetate en la superficie del terreno y es una de las regiones con mayor riesgo de erosión debido a los niveles de precipitación pluvial que presenta, la intensidad, frecuencia y ocurrencia de estas, así como a las pendientes medias y fuertes que la caracterizan.

El sitio de muestreo se encuentra a 8 km. del centro de Tetela del Volcán, sobre la carretera Tetela del Volcán-Tlacotepec, en la parte sureste del municipio.

Los factores que se consideraron para este experimento fueron:

- A. Especie vegetal (sin planta, higuera y pasto)
- B. Enmienda: Estiércol de bovino (72 t/ha, en seco)
Fertilizante inorgánico (80-80-20 para higuera y 250- 200-00 para pasto)
- C. Tiempo (dos etapas: 12 y 24 meses)

El estiércol de bovino se aplicó en dosis de 72 t/ha, en seco para todos los tratamientos. En el caso del fertilizante se utilizó sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, superfosfato de calcio simple como fuente de fósforo y cloruro de potasio como fuente de potasio, en dosis de 80-80-20 en el caso de la higuera y 250-250-00 para el pasto.

El testigo Absoluto, TAb, estuvo constituido por el tepetate sin ningún tratamiento; constituye el punto de comparación a partir del cual, se evaluaron los cambios ocurridos por efecto de los tratamientos. Los tratamientos sin planta, tuvieron como finalidad, delimitar la influencia de cada uno de los factores, de tal manera que fuera posible analizar de manera individual su efecto. Se establecieron 12 tratamientos, cuya descripción se observa en la Tabla 5.

Tabla No. 5 Descripción de los Tratamientos

No.	Descripción	Planta	Estiércol (t/ha)	Fertilizante (kg/ha)	Clave
1	Testigo Absoluto	No	0	0	TAb
2	Testigo con Fertilizante	No	0	80-80-20	TF
3	Testigo con Estiércol	No	72	0	TE
4	Testigo con Est. y Fert.	No	72	80-80-20	TEF
5	Higuera	Higuera	0	0	H
6	Higuera con Fertilizante	Higuera	0	80-80-20	HF
7	Higuera con Estiércol	Higuera	72	0	HE
8	Higuera con Est. y Fert.	Higuera	72	80-80-20	HEF
9	Pasto	Pasto Rhodes	0	0	P
10	Pasto con Fertilizante	Pasto Rhodes	0	250-200-00	PF
11	Pasto con Estiércol	Pasto Rhodes	72	0	PE
12	Pasto con Est. y Fert.	Pasto Rhodes	72	250-200-00	PEF

6.2 Descripción del diseño

El material se encontraba aflorado debido a la pérdida de la capa de suelo (Fig. 3). Se obtuvo por medio de herramientas comunes (pico y barreta), aproximadamente 400 kg, posteriormente, se metió dentro de costales y fue trasladado al invernadero del Instituto de Geología de la UNAM (Fig. 1 y 2, apéndice). En el invernadero se fragmentó en forma manual (martillo), se tamizó para obtener fragmentos de tamaño igual o menor a 20 mm y se llenaron macetas con capacidad de 6 kg sin orificios, para evitar pérdidas. Las macetas se rotularon con claves que hacen referencia al tratamiento y la repetición correspondiente (Tabla 5).



Figura 3. Recolecta del material



Figura 4. Establecimiento del experimento

El diseño experimental fue factorial, 3 X 2 X 2. Los factores fueron: plantas (3), enmienda (2) y tiempo (2). La distribución de los tratamientos fue completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental correspondió a una maceta con tepetate en los testigos, una maceta con tepetate y una planta para higuera y, una maceta con tepetate y 3 plantas para pasto Rhodes (Figura 4). En total fueron 48 unidades experimentales (12 x 4).

El análisis de los datos se llevo a cabo mediante un análisis de Varianza (ANDEVA) y en aquellos casos en el que el efecto de los factores fue significativo se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p= 0.01$). Esto se llevó a cabo mediante el paquete estadístico MSTAT versión para MS-DOS.

En los tratamientos con estiércol, éste se mezcló con el tepetate para que quedara distribuido homogéneamente el material, antes de trasplantar las especies vegetales. El fertilizante se aplicó 15 días después del trasplante; en el caso de las higueras, se aplicó una dosis única y en los pastos, la dosis se dividió en 5, que correspondió a los cortes efectuados y se aplicó 15 días después de cada corte.

Las higueras, de dos años de edad, fueron obtenidas del vivero Nezahualcoyotl perteneciente a la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Gobierno del Distrito Federal. Se tuvieron durante 15 días en el invernadero para su aclimatación, posteriormente, fueron trasplantadas a las macetas a raíz desnuda. La semilla de pasto se compró en una casa comercial de la Ciudad de México y se germinaron directamente en las macetas con el tratamiento correspondiente, dejando únicamente 3 macollos por maceta.

El experimento constó de 2 etapas de observación: doce y veinticuatro meses. El pasto se cortó 5 veces durante los dos años y se colocó en bolsas de papel marcadas para pesarlas antes y después de secarlas en la estufa. Para la cosecha se cortó la parte aérea de la planta dejando la raíz en la maceta. La parte aérea de las higueras fue medida y puesta a secar en bolsas para posteriormente pesarlas.

Una vez que el tepetate contenido en la maceta estaba completamente seco, se obtuvo el porcentaje de agregación de la maceta por el método de Sávinov (Kaúrichev *et al.*, 1980). En este método el material se pasa por diferentes tamices, para posteriormente pesar cada una de las fracciones y obtener el porcentaje de cada uno de los tamaños. Los intervalos del tamaño de los agregados en seco fueron: < 0.25 mm, 0.25-1.0 mm, 1.0-2.0 mm, 2.0-5.0 mm, 5.0-10.0 mm y > 10.0 mm.

Para obtener la estabilidad en húmedo, se utilizó el método de Klute (Oleschko, 1995) en el que se pasa una muestra de 50 gramos de suelo por una serie de tamices dentro del agua, después se colocaron en frascos las diferentes fracciones (<0.25 mm., 0.25-0.5 mm, 0.5-1.0 mm, 1.0-2.0 mm, 2.0-3.0 mm, 3.0-5.0 mm y >5.0 mm) y se secaron en la estufa a 60° C para ser pesados posteriormente y obtener el porcentaje de agregados estables en húmedo.

6.3 Análisis de laboratorio

Los análisis se realizaron para la caracterización del material y para las etapas de 12 y 24 meses.

Las determinaciones físicas y químicas se realizaron en el laboratorio con base en Soil Survey Staff (1994).

- Color en seco y en húmedo
- Densidad aparente por el método de la parafina
- Determinación granulométrica por el método de la pipeta
- pH en agua y KCl en proporción 1:2.5, con un potenciómetro marca Orion, modelo 920A.
- Materia orgánica por el método de Walkley y Black
- Capacidad de intercambio catiónico total
- Bases intercambiables. El calcio y el magnesio se determinaron por el método del versenato y el sodio y el potasio por flamometría con un flamómetro marca Corning modelo 400.
- Porcentaje de saturación de bases

Los análisis de estructuración de material se realizaron de acuerdo a los siguientes métodos

- Formación de agregados por el método de Sávinov (citado por Kaúrichev *et al.*, 1980).
- Estabilidad de agregados, por el método de Klute (citado por Oleschko, 1995).

VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Propiedades químicas

7.1.1 pH en Agua

La Tabla 1 del Apéndice, muestra los resultados del análisis de varianza, en el cual se observa que las especies vegetales, el tiempo y las enmiendas, tuvieron una influencia altamente significativa sobre el pH del tepetate, al igual que la interacción especie-tiempo, así como una influencia significativa de la interacción de los tres factores.

En la Figura 5, se observa una diferencia en el comportamiento de los tratamientos que no presentan planta, respecto a los que tienen higuera o pasto. El TAB incrementó significativamente su pH con respecto a la etapa cero. En los tratamientos TF, TE y TEF, se observó que el pH disminuyó con respecto a la etapa inicial de manera significativa. El tratamiento TF, en el cual el pH también disminuyó su valor, no presentó diferencias significativas (Tabla 6). El comportamiento de los tratamientos TE pudo estar dado por la descomposición de la materia orgánica, ya que forma ácidos orgánicos (Troeh y Thompson, 1993).

Cuando hay presencia de especies vegetales (Tabla 6), el pH se incrementó hacia la alcalinidad debido a una alteración del material primario. Los tratamientos con higuera lo incrementaron significativamente, excepto el HEF. En todos los tratamientos en la etapa uno se observó una disminución, la cual fue significativa excepto con el HEF. El pH más alto se presentó con la higuera sola, el cual fue significativamente diferente, respecto a los otros tratamientos.

Por lo que respecta al pasto, en la Tabla 6 se observa un incremento en ambas etapas y con todos los tratamientos, respecto al pH inicial, de manera significativa. Los tratamientos P, PE y PEF presentaron los valores más altos; entre sí no presentaron diferencias significativas, pero respecto al tratamiento con fertilizante, sí.

Tabla 6. Valores de pH en agua del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	7.10 e	7.27 c	7.18 d
TF	7.10 e	7.02 e	7.02 e
TE	7.10 e	6.88 fg	6.99 f
TEF	7.10 e	6.91 f	6.91 f
H	7.10 e	6.78 g	7.57 a
HF	7.10 e	6.86 g	7.19 d
HE	7.10 e	6.99 f	7.3 c
HEF	7.10 e	7.07 e	7.13 de
P	7.10 e	7.33 c	7.56 a
PF	7.10 e	7.28 c	7.35 c
PE	7.10 e	7.14 d	7.61 a
PEF	7.10 e	7.24 d	7.65 a

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

TAb: Testigo Absoluto TF: Testigo con fertilizante TE: Testigo con estiércol TEF: Testigo con estiércol y fertilizante

H: Higuera HF: Higuera con fertilizante HE: Higuera con estiércol HEF: Higuera con estiércol y fertilizante

P: Pasto PF: Pasto con fertilizante PE: Pasto con estiércol PEF: Pasto con estiércol y fertilizante

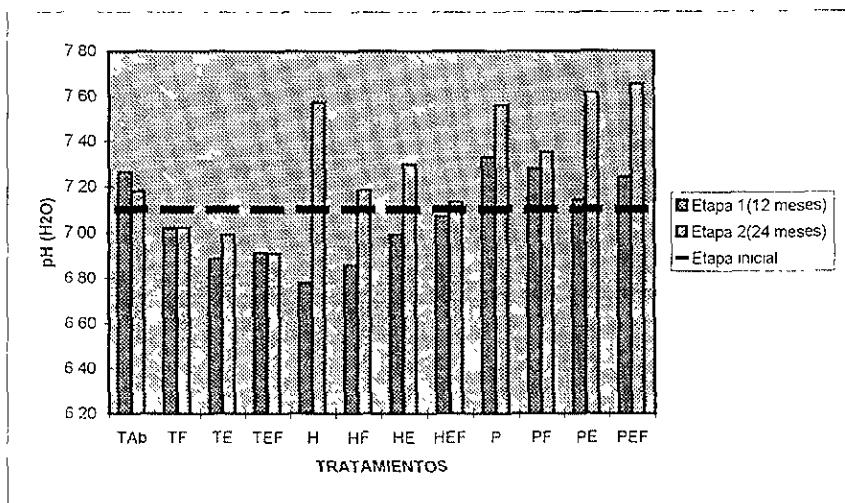


Figura 5. Valores de pH en agua del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

Como puede observarse en la Figura 5, todos los tratamientos presentaron diferencias en su comportamiento, sin embargo, se podría decir que la presencia de especies vegetales tiende a incrementar el pH hacia la alcalinidad. Esto debido a la formación de H_2CO_3 , generado por la reacción que se presenta entre el CO_2 liberado en el proceso respiratorio de las raíces de las plantas y de los organismos al disolverse y reaccionar con agua.



Lo cual provoca que el medio se acidifique promoviendo así el intemperismo del material, por lo que se liberan bases al medio lo que provoca un pH alcalino o neutro. Esto se presenta en las primeras fases del intemperismo (Ortega, 1981)

Velázquez (1997), menciona que el pH se vuelve alcalino con la planta y que por el contrario, las que no presentan planta pero sí estiércol o fertilizante, tienden a disminuir el pH hacia la acidez.

7.1.2 pH en cloruro de potasio

El análisis de varianza (Tabla 1, apéndice) muestra que el pH estuvo influenciado por las especies, el tiempo y las enmiendas, de una manera altamente significativa, al igual que por la interacción de especie-tiempo y tiempo-enmienda.

En la Tabla 7 se puede observar que el pH se incrementó de manera significativa con todos los tratamientos, siendo mayor en los tratamientos con planta. La tendencia fue hacia la neutralidad (Figura 6).

El comportamiento del pH con cloruro de potasio fue similar al pH con agua, ya que en ambos casos, tiende a incrementarse en los tratamientos con especies vegetales, en donde el pH fue mayor. En los tratamientos sin planta el pH con cloruro de potasio presentó un incremento menor y en el caso de pH en agua, se observó una disminución.

Tabla 7. Valores de pH en KCl del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	5.72 j	5.9 h	6.02 g
TF	5.72 j	5.75 j	5.84 i
TE	5.72 j	5.86 i	6.21 e
TEF	5.72 j	5.89 hi	6.15 f
H	5.72 j	5.94 h	6.52 bc
HF	5.72 j	5.93 h	6.19 f
HE	5.72 j	5.92 h	6.48 c
HEF	5.72 j	5.90 h	6.42 c
P	5.72 j	5.9 h	6.54 b
PF	5.72 j	5.91 h	6.32 d
PE	5.72 j	6.00 g	6.72 a
PEF	5.72 j	6.03 g	6.73 a

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

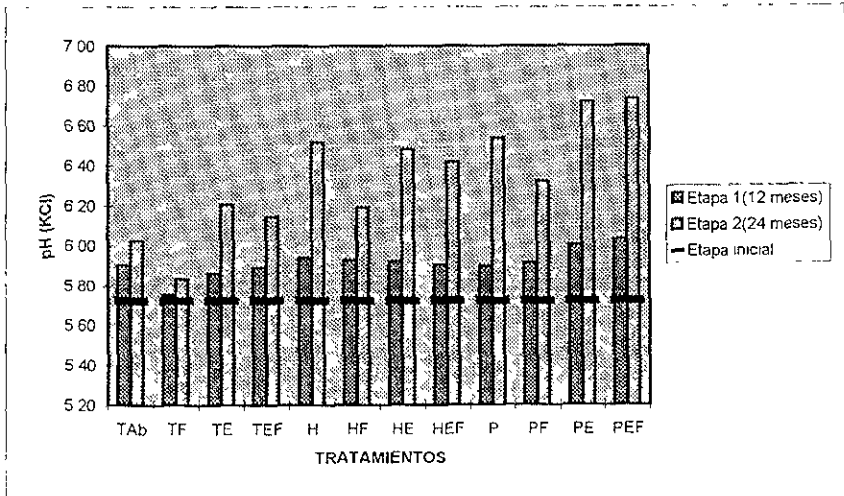


Figura 6. Valores de pH en KCl del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

7.1.3 Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica se vio influenciado de manera altamente significativa por el tiempo y por las enmiendas, así como por la interacción de ambos (Tabla 1, apéndice).

La Tabla 8, muestra las diferencias estadísticas que se presentaron en los porcentajes de materia orgánica entre los diferentes tratamientos y las etapas. Los tratamientos con planta y estiércol y planta con estiércol y fertilizante son los que presentaron porcentajes más altos.

En la Tabla 8, se observa que los tratamientos sin planta el TAB presentó un decremento a los dos años, el cual resultó significativo estadísticamente, por lo contrario en los tratamientos TF, TE y TEF, el porcentaje de materia orgánica se incrementó significativamente, excepto en el caso del tratamiento TF. El TF, correspondiente a los 12 meses presentó una disminución significativa respecto a la etapa inicial. El testigo con estiércol fue el que presentó mayor porcentaje de materia orgánica.

En la Figura 7, se observa que en el TAB se presentó un decremento a través del tiempo, el cual se debió a que no se aplicó ninguna fuente de materia orgánica y, por el contrario, el contenido inicial, pudo experimentar algunas transformaciones, la mineralización (Duchaufour, 1984). En el tratamiento TE, el incremento fue mayor, esto debido a que el estiércol es materia orgánica, la cual logró incorporarse al sustrato e incrementar su contenido, ésta queda en el suelo y es cuantificada. El incremento con el TF, en la etapa dos, pudo deberse a que probablemente sirvió como sustrato para que se desarrollaran algunos microorganismos los cuales, al morir, ayudaron a aportar cantidades de materia orgánica.

Por lo que respecta a los tratamientos con higuera, se observó que los que H y HE, incrementaron su porcentaje de materia orgánica de manera significativa (Tabla 8), pero en los tratamientos HF y HEF se observó un incremento significativo al año, pero a los dos

Tabla 8. Porcentajes de Materia orgánica del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	0.33 d	0.34 d	0.19 e
TF	0.33 d	0.21 e	0.4 d
TE	0.33 d	0.51c	0.81 b
TEF	0.33 d	0.50 c	0.68 c
H	0.33 d	0.26 de	0.49 cd
HF	0.33 d	0.51 c	0.24 e
HE	0.33 d	0.59 c	0.94 ab
HEF	0.33 d	1.01 a	0.52 c
P	0.33 d	0.25 e	0.40 d
PF	0.33 d	0.51 c	0.27 d
PE	0.33 d	0.64 c	0.85 b
PEF	0.33 d	0.78 b	1.16 a

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

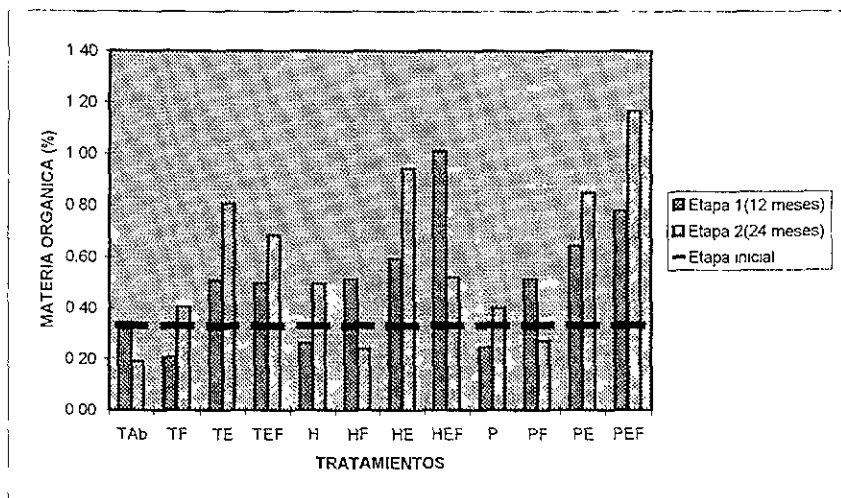


Figura 7. Porcentajes de Materia orgánica del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

años se observó un decremento significativo, quedando incluso en el caso de la HF, por abajo del valor de la etapa inicial.

En la Figura 7 se observa que la materia orgánica se incrementó con el pasto. En la tabla 8 se observa que el incremento fue significativo, excepto en el tratamiento P, en el cual, hubo una disminución significativa al año. El PF disminuyó su contenido a los dos años, aunque se incrementó al año y de manera significativa.

Con la presencia de las especies vegetales, la cantidad de materia orgánica inicialmente disminuye, debido a los requerimientos de las plantas para su establecimiento; sin embargo con el paso del tiempo, se incrementó ya que las plantas producen sustancias orgánicas que se incorporan al suelo. La presencia de raíces y materia orgánica permite a que otros organismos puedan desarrollarse y al morir, ayudan al incremento de la materia orgánica. Gregory (1992) menciona, que la zona en la que se encuentran las raíces (Rizósfera) presenta gran actividad microbiana. Su fuente principal de energía se deriva de la planta, posiblemente del mucílago y de los compuestos orgánicos solubles excretados por las raíces y de células radicales que se desprenden.

En los tratamientos con estiércol, el incremento fue mayor ya que como se mencionó anteriormente, el estiércol es materia orgánica que al adicionarse al suelo, contribuye a aumentar el contenido, además es fuente de nutrimentos para la planta y organismos. El efecto del estiércol también se puede observar por más tiempo debido a que presenta un efecto residual, por lo que algunos nutrimentos estarán a disposición de la planta en años posteriores (Wild y Jones, 1992).

En el caso del fertilizante, la disminución de materia orgánica pudo ser debida a que la planta necesita mayor cantidad de nutrimentos para poder desarrollarse, por lo que además de tomarlos del fertilizante, también lo hizo de la materia orgánica del suelo, lo cual provocó una disminución a través del tiempo, así como la posible presencia de microorganismos, los cuales también utilizan el fertilizante y la materia orgánica para su nutrición, provocando así una disminución.

7.1.4 Capacidad de intercambio catiónico total

Por lo que respecta al análisis de varianza (Tabla 1 del apéndice), la capacidad de intercambio catiónico sólo presentó influencia altamente significativa por efecto del tiempo.

En la Figura 8 se puede observar que no se presentaron muchas variaciones por efecto de los diferentes tratamientos.

En los tratamientos sin planta, se observó un incremento en la etapa uno, el cual fue significativo (Tabla 9), excepto en el TAb, en el que hubo un decremento. A los dos años se observó un decremento con respecto a la etapa uno, el cual presentó diferencias significativas, excepto en el TAb.

Por lo que respecta a los tratamientos con planta, en la etapa dos se observó que todos los tratamientos tendieron a estabilizarse, en un nivel inferior a las etapas anteriores, no hay diferencias significativas entre ellos. Únicamente HEF se mantuvo al nivel de la etapa inicial (Tabla 9).

La disminución de la capacidad de intercambio catiónico total, pudo deberse a fenómenos de microagregación. En los cuales, las partículas de menor tamaño, como las arcillas y los limos, se unen para formar unidades de mayor tamaño, principalmente arenas, lo que provoca que las unidades tengan menor superficie de reacción o de carga (Acevedo y Flores, 2000; Angers *et al.*, 1992). En el caso de los tepetates, este fenómeno se acentúa debido a la presencia de la Sílice amorfa, la cual, ayuda a unir las partículas disminuyendo aún más la superficie de reacción (Velázquez, 1997).

Tabla 9. Capacidad de intercambio catiónico (cmol+kg-) del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	22.67 b	21.00 c	20.7 c
TF	22.67 b	24.38 a	20.21 c
TE	22.67 b	24.75 a	21.31 c
TEF	22.67 b	25.75 a	23.27 b
H	22.67 b	24.13 a	21.68 c
HF	22.67 b	22.88 b	21.19 c
HE	22.67 b	25.25 a	20.95 c
HEF	22.67 b	23.13 b	21.56 c
P	22.67 b	23.63 b	20.82 c
PF	22.67 b	22.75 b	20.58 c
PE	22.67 b	23.25 b	21.44 c
PEF	22.67 b	22.5 b	21.07 c

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

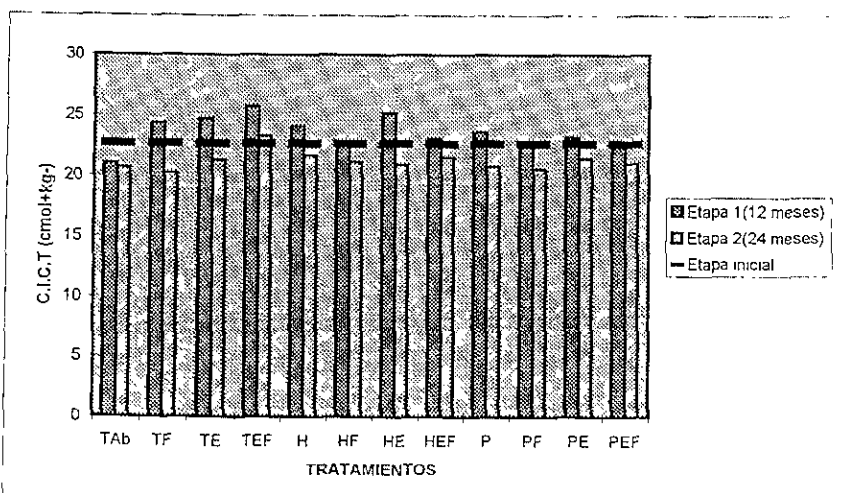


Figura 8. Capacidad de intercambio catiónico del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

Tabla 10. Contenido de calcio intercambiable (cmol+kg⁻¹) del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	11.5 c	10.63 d	9.72 d
TF	11.5 c	12.38 b	10.56d
TE	11.5 c	11.50 c	10.80 c
TEF	11.5 c	12.00 b	10.32 d
H	11.5 c	11.50 c	10.56 d
HF	11.5 c	10.75 d	8.88 e
HE	11.5 c	14.13 a	10.56 d
HEF	11.5 c	11.50 c	11.52 c
P	11.5 c	12.38 b	11.64 c
PF	11.5 c	11.38 c	9.60 e
PE	11.5 c	11.13 c	9.60 e
PEF	11.5 c	11.75 c	10.20 d

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. (p=0.01)

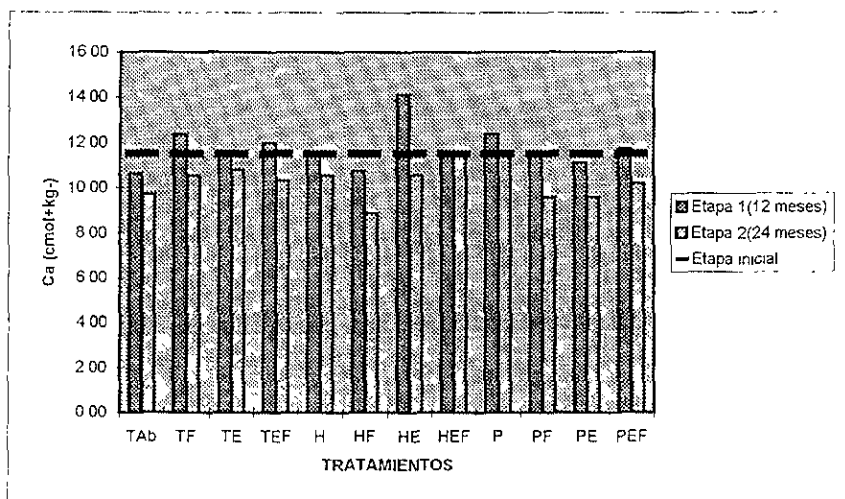


Figura 9. Contenido de Calcio intercambiable del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

El decremento en los tratamientos pudo deberse a que la planta aprovechó los nutrimentos que tiene a su disposición para poder desarrollarse, así como pudieron ser unirse con otros elementos y de esta manera no son cuantificados aunque existan en el medio.

De manera general en la Figura 9 se observa que en la etapa uno el calcio se mantuvo o tendió a incrementarse y, en la etapa dos, se observó un decremento en la cantidad de calcio, con todo los tratamientos.

Magnesio

En el análisis de varianza (ver apéndice, Tabla 1), se puede observar que el tiempo y las especies presentaron una influencia significativa sobre el contenido de magnesio. En el caso de las etapas, fue altamente significativa y por influencia de las enmiendas no lo fue.

En la Figura 10 se observa que los tratamientos sin planta en la etapa uno presentaron un incremento significativo, excepto en el TAb, en el cual disminuye de manera significativa el contenido de magnesio; pero para la etapa dos, se pudo observar un incremento con todos los tratamientos, el cual fue estadísticamente significativo (Tabla 11).

En presencia de la higuera se pudo observar que en la etapa uno (Figura 10), hubo un incremento en el tratamiento H y HF, el cual sólo fue significativo en H. En los tratamientos HE y HEF, existió una disminución, la cual fue significativa (Tabla 11). En la etapa dos todos los tratamientos con higuera incrementaron la cantidad de magnesio, pero este incremento sólo fue significativo para el tratamiento HE y HF.

Por lo que respecta a los tratamientos con pasto, se pudo observar un incremento en la etapa uno, el cual fue significativo excepto en los tratamientos P y PF (Tabla 11). En la etapa dos se incrementó, excepto con PE, donde hubo una disminución pero no menor a la etapa inicial. El incremento fue significativo con respecto a la etapa inicial.

Tabla 11. Contenido de Magnesio intercambiable (cmol+kg-) del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	7.17 c	6.25 d	9.14 a
TF	7.17 c	8.25 b	8.92 b
TE	7.17 c	8.38 b	10.15 a
TEF	7.17 c	8.38 b	9.52 a
H	7.17 c	8.38 b	7.57 c
HF	7.17 c	7.38 c	7.66 c
HE	7.17 c	6.88 d	7.81 c
HEF	7.17 c	6.63 d	9.92 a
P	7.17 c	7.38 c	8.82 b
PF	7.17 c	7.50 c	7.92 c
PE	7.17 c	8.63 b	8.28 b
PEF	7.17 c	8.13 b	8.42 b

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

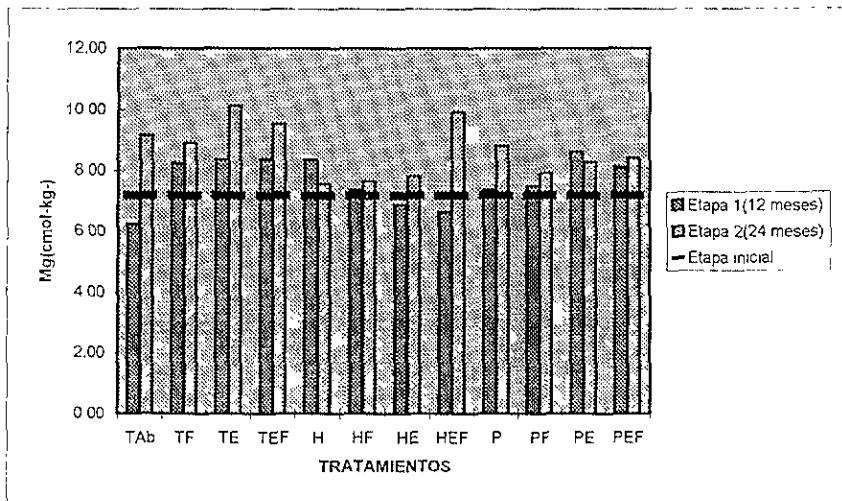


Figura 10. Contenido de Magnesio intercambiable del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

De manera general, se pudo apreciar que la cantidad de magnesio se incrementó con todos los tratamientos, pero el incremento fue mayor en los tratamientos que no presentaron plantas (Figura 10). El incremento en la cantidad de magnesio pudo ser debido a la presencia de feldespatos en el tepetate (Flores *et al.*, 1992), así como el que en los tratamientos con plantas sea menor es debido a que es un elemento que necesitan para desarrollarse y por lo cual pudo haber sido absorbido.

Sodio

En la Tabla 1 (apéndice) se puede observar que las especies, el tiempo y la interacción de ambos presentan una influencia altamente significativa sobre la cantidad de sodio.

En la Tabla 12, se puede observar que los tratamientos sin planta en la etapa uno, presentaron un incremento, el cual no fue significativo, a excepción del TAB, el cual presentó una disminución significativa, pero a los dos años se incrementaron todos los tratamientos de manera significativa.

En los tratamientos con higuera en la etapa uno (Tabla 12), se observó un incremento significativo de sodio, a excepción de HEF. En la etapa dos, se incrementaron todos los tratamientos de manera significativa. En el caso del pasto, existió un incremento significativo en la etapa uno, en los tratamientos P y PE, en la etapa dos, se presentó un incremento con todos los tratamientos.

En la Figura 11, se observa que la cantidad de sodio con todos los tratamientos tendió a incrementarse; el cual fue mayor en los tratamientos higuera con estiércol e higuera con estiércol y fertilizante. El incremento pudo ser debido a la presencia de feldespatos en el material, así como a la presencia de sodio en el estiércol.

Tabla 12. Contenido de Sodio intercambiable (cmol+kg-) del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	1.28 f	1.15 g	1.75 e
TF	1.28 f	1.34 f	1.81 d
TE	1.28 f	1.30 f	2.33 c
TEF	1.28 f	1.37 f	2.14 c
H	1.28 f	1.58 e	2.13 c
HF	1.28 f	1.98 d	2.35 c
HE	1.28 f	1.85 d	2.82 a
HEF	1.28 f	1.37 f	2.95 a
P	1.28 f	1.49 e	2.09 c
PF	1.28 f	1.44 f	2.28 c
PE	1.28 f	1.54 e	2.12 c
PEF	1.28 f	1.48 ef	2.15 c

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

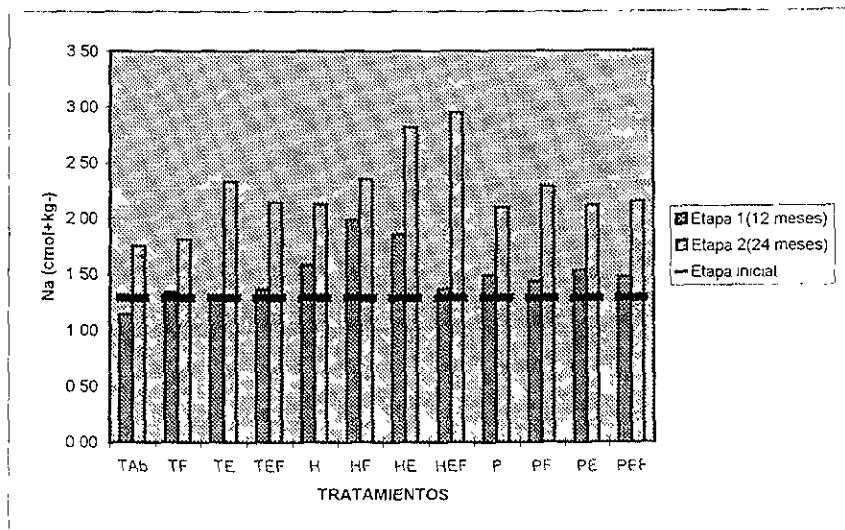


Figura 11. Contenido de Sodio intercambiable del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

Potasio

El análisis de varianza (ver apéndice, Tabla 1), muestra que las especies, las enmiendas, el tiempo y la interacción especie-etapa presentaron una influencia altamente significativa sobre la cantidad de potasio en el tepetate.

En los tratamientos sin planta se pudo observar, que en la etapa uno, se manifestó un incremento, el cual fue significativo excepto en el TAB, pero los tratamientos TE y TEF presentaron un mayor incremento que los demás. A los dos años el TAB se mantuvo, pero en el TF y el TE hubo una disminución y, en caso del TEF, el potasio se incrementó aun más, de manera significativa (Tabla 13).

En la Tabla 13, se puede observar que en los tratamientos con planta se presentó un incremento significativo a los dos años, en los tratamientos con estiércol y estiércol con fertilizante, no así en el caso del fertilizante, el cual presentó una disminución significativa en la etapa dos y cuando estuvo la planta sola, se presentó una disminución en la etapa uno, pero en la etapa dos se incrementó, quedando similar a la etapa cero.

En la Figura 12, se puede observar que los tratamientos con especie vegetal presentaron un comportamiento similar al de los tratamientos sin planta, en el que los valores mas altos se alcanzaron con la presencia de estiércol y con estiércol y fertilizante juntos. La diferencia con los otros tratamientos, en los que solo estuvo la planta o con fertilizante, fue significativa.

El incremento en la cantidad de potasio en los tratamientos que presentaban estiércol, fue debido a que en su composición, como se mencionó anteriormente (Tabla 13), presenta este elemento y al transformarse el material, libera al medio elementos que pueden ser absorbidas por la planta o quedar en la maceta, debido a que no hay pérdida de material ya que no presenta orificios.

Tabla 13. Contenido de Potasio intercambiable (cmol+kg-)del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	0.96 f	1.09 f	1.11 f
TF	0.96 f	1.25 e	1.10 f
TE	0.96 f	1.92 b	1.84 b
TEF	0.96 f	1.94 b	2.25 a
H	0.96 f	0.77 g	1.09 f
HF	0.96 f	1.08 f	0.91 g
HE	0.96 f	1.97 b	1.52 d
HEF	0.96 f	1.88 b	1.66 c
P	0.96 f	1.21 e	1.10 f
PF	0.96 f	0.70 h	0.96 f
PE	0.96 f	1.30 e	1.46 d
PEF	0.96 f	1.55 d	1.69 c

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

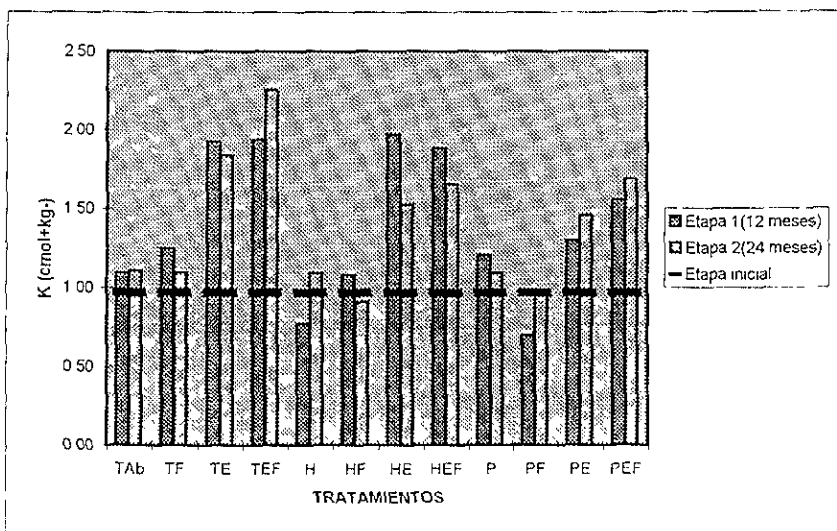


Figura 12. Contenido de Potasio intercambiable del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

De manera general, el incremento en Mg, Na y K a lo largo del tiempo, pudo ser debido a que los tepetates son materiales que en su composición presentan feidespatos, los cuales al intemperizarse, liberan sus componentes al medio (Flores *et al.*, 1992, 1996). Este intemperismo, como ya se mencionó anteriormente, es promovido por la acción del ácido carbónico, el cual ayuda a que se liberen las bases, esto provoca que el material, a través del tiempo, esté liberando compuestos al suelo, incrementando así la cantidad de Na, K y Mg (Bohn *et al.*, 1993). Además de que la aplicación del estiércol y fertilizante ayuda a incrementar las bases, ya que en su composición (Tabla 2, apéndice) presenta elementos, que al descomponerse, van siendo liberados al suelo (Domínguez, 1997).

Este mismo proceso se presenta en el caso del calcio, pero este en ocasiones no queda libre en el medio, sino que es absorbido por la planta al igual que las otras bases, pero también una parte se une a otros elementos formando quelatos, lo cual impide que esté disponible.

7.1.6 Saturación de bases

La tabla 1 del apéndice, muestra los resultados del análisis de varianza, en la cual se observa que la saturación de bases únicamente presenta efecto significativamente estadístico del tiempo.

En la etapa uno se observó que con el tratamiento PE y PF se incrementó de manera significativa la saturación de bases, pero en la etapa dos, se incrementó con todos los tratamientos de manera significativa, excepto con los tratamientos H y HF con los cuales, a pesar de que se presentó un incremento, éste no fue significativo (Tabla 14).

En la Figura 13 se observa que la tendencia de todos los tratamientos fue a incrementarse la saturación de bases, así como en la etapa dos, se alcanzó un mayor incremento. El incremento en la saturación de bases es un reflejo del aumento en la cantidad de bases intercambiables, así como del incremento en la capacidad de intercambio catiónico total. Esto refleja la fertilidad de suelo, ya que mientras mayor el porcentaje, quiere decir que se tiene mayor cantidad de nutrimentos

Tabla 14. Porcentaje de Saturación de bases del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos Comparación de medias (Tukey)¹.

Tratamiento	Etapa 0 (0 meses)	Etapa 1 (12 meses)	Etapa 2 (24 meses)
TAb	92.37 c	90.82 c	108.77 b
TF	92.37 c	95.46 c	111.28 a
TE	92.37 c	94.6 c	121.94 a
TEF	92.37 c	93.22 c	104.35 b
H	92.37 c	92.43 c	98.18 c
HF	92.37 c	91.43 c	95.22 c
HE	92.37 c	99.85 c	111.39 a
HEF	92.37 c	93.22 c	120.63 a
P	92.37 c	95.48 c	115.16 a
PF	92.37 c	93.16 c	101.72 b
PE	92.37 c	97.47 c	100.22 b
PEF	92.37 c	103.81 b	106.42 b

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. ($p=0.01$)

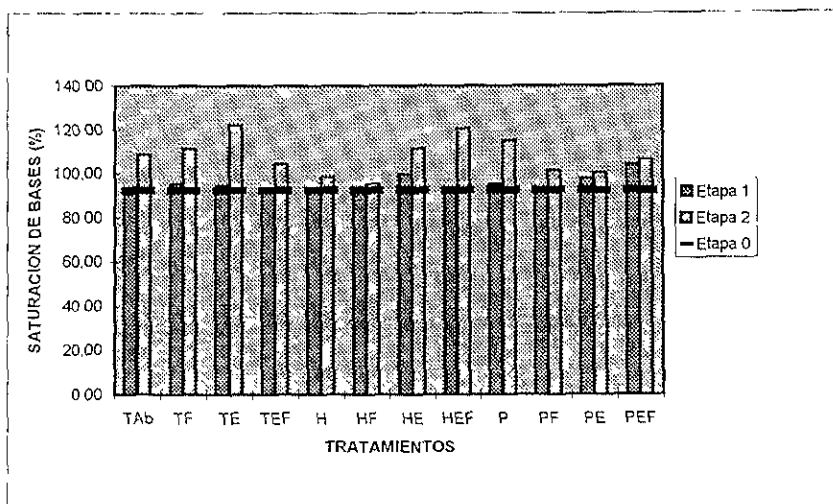


Figura 13. Porcentajes de Saturación de bases del tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos.

7.2 Propiedades físicas

En este experimento las propiedades físicas que se tomaron en cuenta fueron, agregación y estabilidad, ya que lo que se pretendió en el experimento fue observar el cambio en la agregación y la estabilidad por efecto de los tratamientos.

7.2.1 Agregación

Antes de presentar los resultados y la discusión, es necesario aclarar que el término agregado se utilizará tanto para los fragmentos, como para los agregados reales, formados. Los agregados correspondientes a la etapa inicial fueron creados por fragmentación, debido a que el tepetate presenta una estructura masiva.

El efecto de las especies, tiempo y enmiendas se puede observar sobre todos los intervalos de tamaño de agregados, excepto en los intervalos 1.0-2.0, 0.25-1.0 y 5.0-10.0 (Tabla 1 ver apéndice).

En las Figuras 14, 15 y 16, se observa que el material en estado inicial (E0) presentó mayor porcentaje de agregados mayores de 10 mm aún cuando, en general, los agregados mayores de 2 mm ocuparon un mayor porcentaje en la maceta que los de menor tamaño.

Al comparar las Figuras 14, 15 y 16, se observa que la tendencia en todos los tratamientos fue a mantener la proporción, en los de los diferentes tamaños de agregados, durante todo el tiempo que duró el experimento, ya que la mayor parte de la maceta estuvo formada por agregados > de 10mm, los cuales a lo largo de las etapas fueron disminuyendo en porcentaje. El porcentaje de agregados de 5.0-10.0 mm tendió a incrementarse, por lo que a lo largo del tiempo se pudo observar que llegaron a tener la misma proporción los dos intervalos de agregados. Los demás intervalos mantuvieron su proporción respecto a su contenido original.

Tabla 13. Porcentajes de agregados en tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapa dos. Comparación de Medias (tukey)¹

Tratamiento	<0.25 mm		0.25-1.0 mm		1.0-2.0 mm	
	etapa 0	etapa 1	etapa 0	etapa 1	etapa 0	etapa 1
TAb	3.68 c	4.06 c	9.38 b	8.68 b	7.17 b	7.42 b
TE	3.68 c	4.2 b	9.38 b	6.59 c	7.17 b	5.71 d
TF	3.68 c	3.42 c	9.38 b	11.7 a	7.17 b	5.51 d
TEF	3.68 c	3.93 c	9.38 b	7.2 c	7.17 b	6.15 c
H	3.68 c	4.99 b	9.38 b	7.5 b	7.17 b	6.45 c
HE	3.68 c	4.03 c	9.38 b	8.09 b	7.17 b	6.44 c
HF	3.68 c	2.68 d	9.38 b	4.57 c	7.17 b	4.9 e
HEF	3.68 c	5.51 a	9.38 b	12.64 a	7.17 b	5.45 d
P	3.68 c	2.69 d	9.38 b	3.84 d	7.17 b	3.95 f
PE	3.68 c	5.34 a	9.38 b	13.26 a	7.17 b	7.03 c
PF	3.68 c	5.68 a	9.38 b	10.32	7.17 b	5.92 d
PEF	3.68 c	5.89 a	9.38 b	12.42 a	7.17 b	9.24 a

Tratamiento	2.0-5.0 mm		5.0-10.0 mm		>10 mm	
	etapa 0	etapa 1	etapa 0	etapa 1	etapa 0	etapa 1
TAb	16.78 d	15.16 e	25.93 d	28.95 c	37.06 b	35.74 c
TE	16.78 d	15.3 d	25.93 d	28.67 c	37.06 b	39.51 b
TF	16.78 d	14.61 d	25.93 d	25.95 d	37.06 b	38.8 b
TEF	16.78 d	15.32 d	25.93 d	28.5 c	37.06 b	38.88 b
H	16.78 d	15.84 d	25.93 d	29.98 b	37.06 b	35.23 c
HE	16.78 d	17.65 c	25.93 d	33.38 b	37.06 b	30.41 d
HF	16.78 d	17.38 c	25.93 d	32.85 b	37.06 b	37.65 b
HEF	16.78 d	14.58 d	25.93 d	30.8 b	37.06 b	31.02 d
P	16.78 d	12.59 f	25.93 d	31.76 b	37.06 b	45.17 a
PE	16.78 d	14.7 d	25.93 d	27.92 c	37.06 b	31.74 d
PF	16.78 d	11.72 f	25.93 d	29.35 c	37.06 b	37.01 b
PEF	16.78 d	13.94 d	25.93 d	26.97 c	37.06 b	31.54 d

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón. (p=0.01)

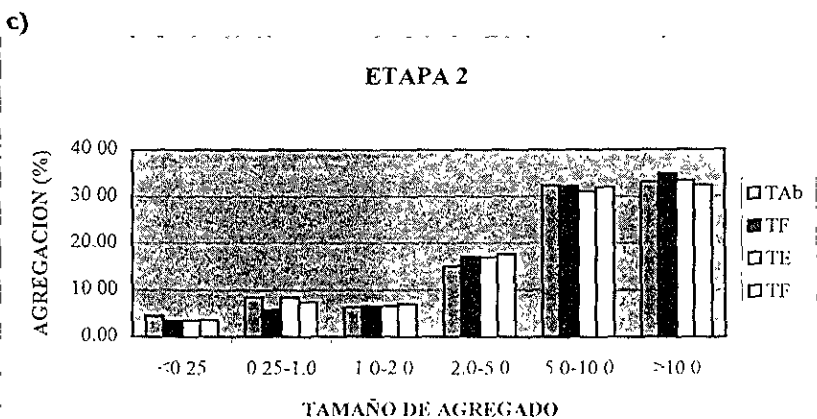
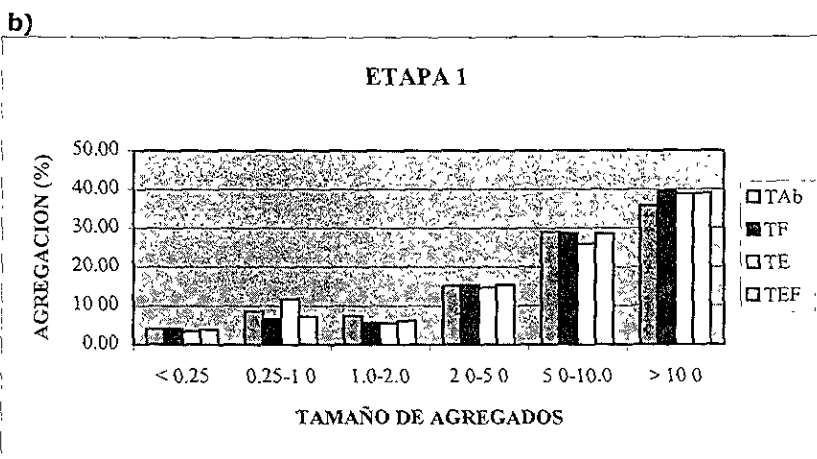
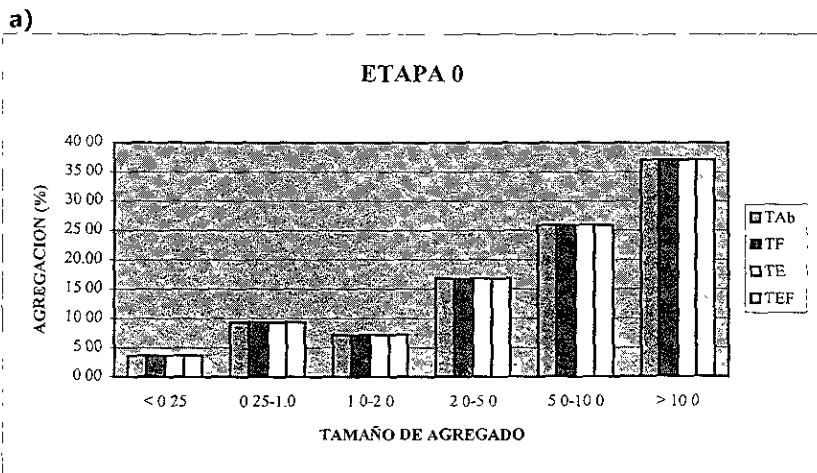
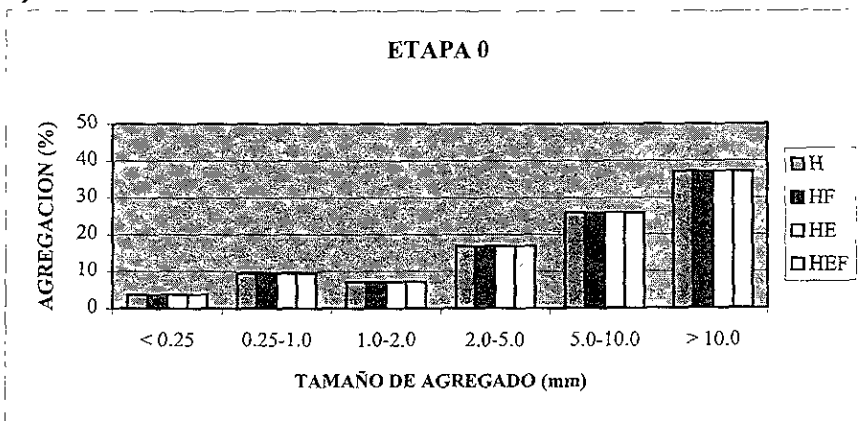
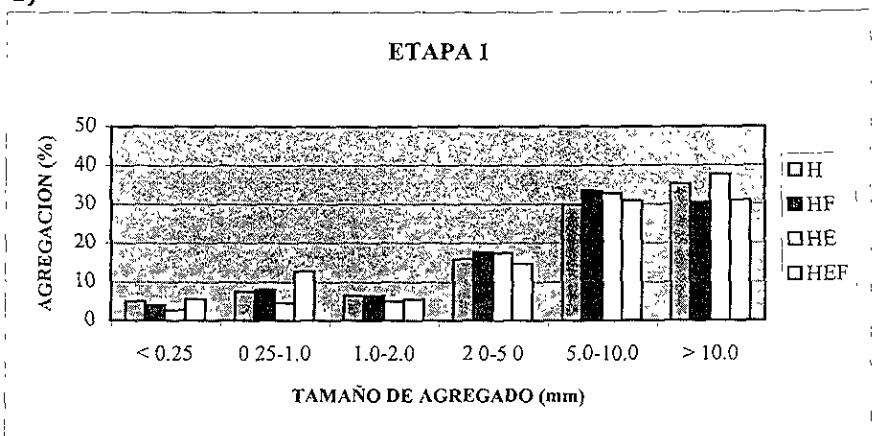


Figura 14 . Porcentaje de agregación del tepetate sin planta durante a) etapa cero, b) etapa uno y c) etapa dos

a)



b)



c)

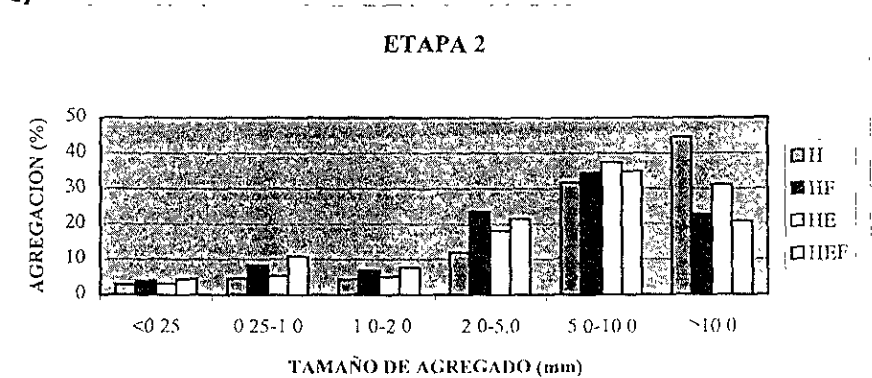


Figura 15. Porcentaje de agregación del tepetate con higuera durante a) etapa cero, b) etapa uno y c) etapa dos

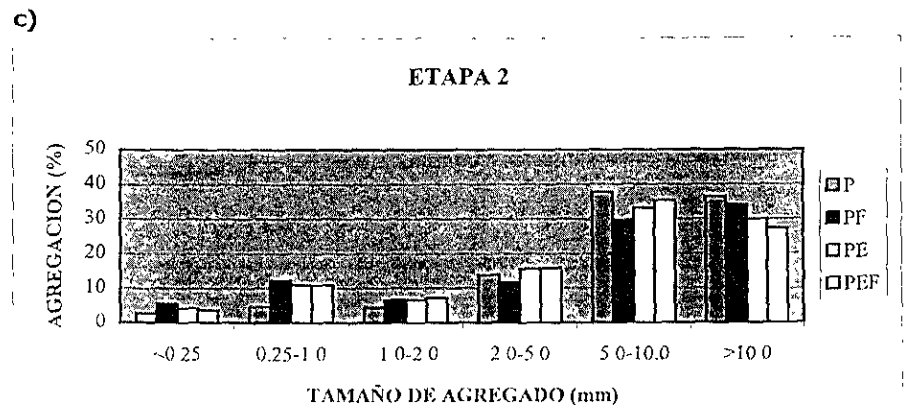
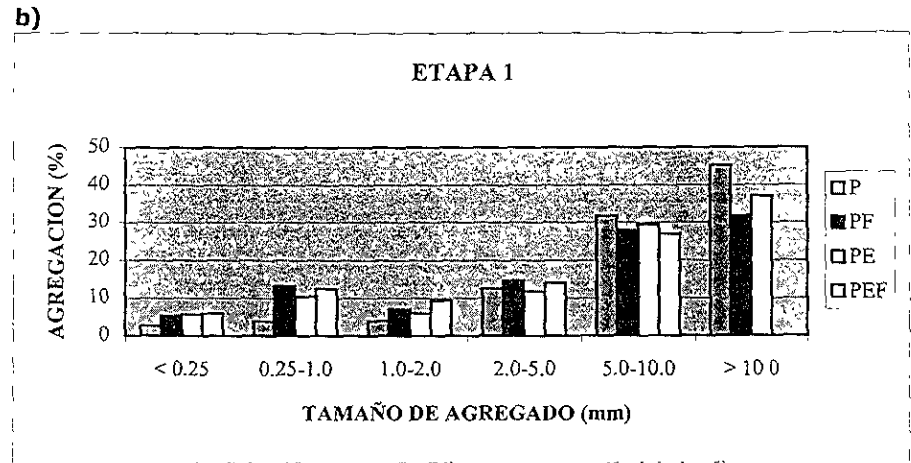
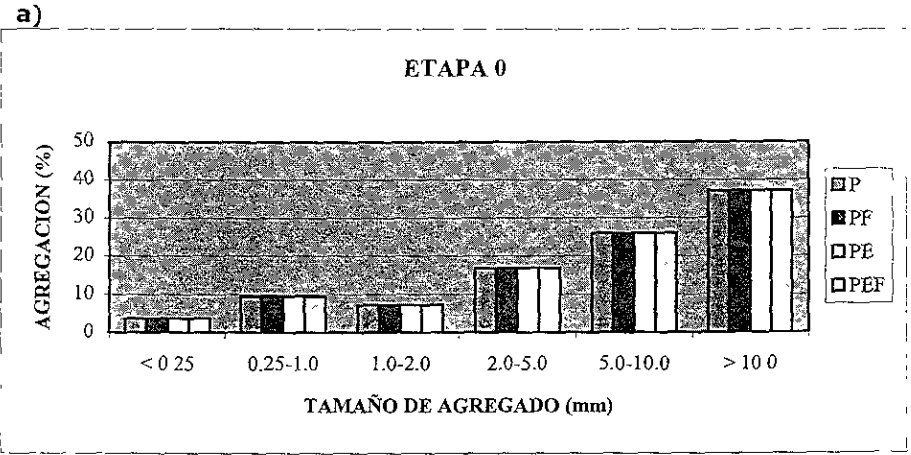


Figura 16 Porcentaje de agregación del tepetate con pasto durante a) etapa cero, b) etapa uno y c) etapa dos

En la Tabla 15, se puede observar que en los tratamientos sin especie vegetal, los agregados mayores de 10.0 mm presentaron una disminución significativa con todos los tratamientos, con respecto al tiempo. Por el contrario, en el caso del intervalo de 5.0-10.0 mm su porcentaje se incrementó significativamente. En el intervalo de 2.0-5.0 mm el TAb presentó una disminución significativa al año y un incremento significativo a los dos años, en el TEF. En el caso de los agregados de 1.0-2.0 mm, se presentó una disminución con todos los tratamientos, excepto con el TAb, la cual fue significativa en la etapa uno y en la etapa dos se presentó un incremento con respecto a la etapa uno, excepto con el TEF y en el caso del TAb, hubo una disminución.

Los tratamientos TF y TEF, presentaron una disminución significativa del porcentaje de agregados 0.25-1.0 mm en la etapa uno y ésta se mantiene a lo largo del tiempo. Por el contrario, el TE tuvo un incremento significativo en la etapa uno y en la etapa dos presentó una disminución. Los agregados <0.25 mm se incrementaron significativamente en el TAb (Tabla 15).

En los tratamientos sin especie vegetal los cambios en los porcentajes de agregación pudieron estar dados por los ciclos de humedecimiento y de secado, ya que al presentarse, los fragmentos se rompen cuando están húmedos y se unen cuando secos, provocando que el material se fragmente, pero a la vez, también se una. Los ciclos de humedecimiento y secado se repitieron a lo largo de todo el experimento debido a que no todo el tiempo se mantuvo la misma humedad del tepetate, sino que se agregaba agua dependiendo de las necesidades de las plantas.

Shiel *et al.* (1988), mencionan que los ciclos de humedecimiento y secado presentan un efecto sobre el porcentaje de los agregados, encontrando que los agregados de mayor tamaño disminuyeron y los de menor aumentan, pero los que se encuentran en intervalos intermedios varían dependiendo de la cantidad de ciclos. El reemplazamiento de los agregados grandes con los del siguiente tamaño sugieren fractura en unidades de igual tamaño con la producción de algún material muy fino, presumiblemente por la abrasión de lo anguloso de las orillas.

Además de los ciclos, la agregación del material sin especie vegetal pudo estar dada por la presencia de microorganismos, los cuales a pesar de no haber sido evaluados, existen antecedentes de que se encuentran en el material. Alvarez *et al.* (1992) cuantificaron la cantidad de microorganismos presentes en un tepetate y observaron su presencia, así como las variaciones dependiendo del tipo de tratamiento; ya que sólo con roturar el material se incrementa la cantidad de microorganismos en el tepetate, pero cuando se le adiciona materia orgánica, éstos se incrementan aun más. La escasa comunidad microbiana encontrada en tepetate sin roturar puede estar relacionada con el bajo intercambio gaseoso que ocurre en los tepetates debido a la cementación, de tal forma que con la roturación se mejora la actividad fisiológica de los microorganismos. Así como también se incrementa su número por la disponibilidad de compuestos orgánicos, debido a la presencia de materia orgánica o a los secretados por las plantas.

Los microorganismos por efecto físico ayudan a la unión de los agregados, principalmente las hifas de los hongos, así como los compuestos orgánicos que aportan, ayudan a la unión del material. Tisdall (1994) menciona que los organismos tienen un papel importante en los agregados del suelo, ya que al estar compitiendo por espacio y nutrientes generan un ciclo, el cual ayuda a que las condiciones del suelo se mantengan de una manera adecuada. También menciona que no sólo es el efecto mecánico que puedan tener, sino que las transformaciones de material por efecto de los microorganismos son importantes ya que se obtienen compuestos orgánicos que ayudan a mantener la estructura.

En los tratamientos con estiércol y fertilizante probablemente la presencia de microorganismos sea mayor debido a que en estos tratamientos se les adicionaron nutrientes para que puedan desarrollarse. Ferrera *et al.* (1997), mencionan que las poblaciones microbianas se incrementan después de la introducción de los cultivos y la incorporación de materia orgánica, debido a que son un suministro de compuestos energéticos, que pueden ser usados por los microorganismos

La actividad microbiana se incrementa con el manejo que se les dé a los tepetates por ejemplo, con la roturación, la adición de materia orgánica y el establecimiento de cultivo, en comparación con tepetate no roturado se puede incrementar la cantidad de microorganismos. Los productos metabólicos de la materia orgánica constituyen importantes fuentes de abastecimiento nutrimental para los cultivos. Los residuos orgánicos permiten a los microorganismos crecer y desarrollarse y al mismo tiempo proveerse de materiales estructurales para la formación de más biomasa microbiana (Etchevers, 1998).

En los tratamientos con higuera, se pudo observar que al igual que en los testigos, predominaron los agregados > 10.0 mm, pero comparándolos a lo largo del tiempo, se observó la misma tendencia a disminuirlos y aumentar los de 5.0-10.0 mm. Por lo que respecta a los agregados menores de 2.0 mm, se pudo observar que presentaron más variaciones entre éstos.

Los tratamientos H y HE fueron los que dieron los porcentajes más altos de material > 10.0 mm, pero en los agregados < de 2.0 mm fueron los que presentaron porcentajes más bajos. Los tratamientos con HF y HEF, fueron los que presentaron menor porcentaje de los agregados de mayor tamaño, pero a la inversa en los menores de 2.0 mm. Para todos los tratamientos a lo largo del experimento los agregados con menor variación fueron los del intervalo 2.0-5.0 mm (Figura 15).

En la Tabla 15, se puede observar que en los tratamientos con higuera se presentó una disminución estadísticamente significativa de los agregados > de 10 mm, a lo largo del tiempo, excepto en el tratamiento H, en el cual se presentó un incremento. En el intervalo de 5.0-10.0 mm, los cuatro tratamientos con higuera los incrementaron durante los dos años del experimento. Por lo que respecta al intervalo de 2.0-5.0 mm con los tratamientos HE y HF se presentó un incremento en la etapa uno, respecto a la etapa inicial. En la etapa dos, todos los tratamientos aumentaron el porcentaje de éstos significativamente, excepto H, donde se observó una disminución, con respecto a la etapa inicial.

Los agregados de 1.0-2.0 en todos los tratamientos disminuyeron significativamente en la etapa uno, pero en la etapa dos se incrementaron, excepto con H, con la cual disminuyeron. El porcentaje de agregados en el intervalo de 0.25-1.0 en los tratamientos HE y HEF en la etapa uno, presentó una disminución y un incremento respectivamente, pero en la etapa dos, el porcentaje con H disminuyó de manera significativa con respecto a la etapa anterior, al igual que HEF. Por último, el intervalo <0.25 en los tratamientos H y HEF, al año se incrementaron significativamente, pero con el tratamiento HE se observó una disminución. A los dos años disminuyó el porcentaje de agregados en H y HEF (Tabla 15).

En los tratamientos con higuera, el material se encontraba suelto en algunas zonas en donde no había raíz, pero en la parte central donde se desarrolló, los agregados permanecieron muy unidos entre sí ya que la raíz los penetró, de esta forma los agregados se encontraban empaquetados.

Por lo que respecta al pasto, la proporción de agregados en la maceta se mantuvo igual que con los tratamientos con higuera y sin planta, pero la disminución de los agregados >10.0 mm no fue tan rápida como con la higuera, en la cual, se tuvo menor porcentaje de agregados > de 10 en la etapa final. Al igual que con higuera, el que menos cambios presentó fue el material que estaba en un intervalo de 2.0-10.0 mm y las pérdidas en material > 10.0 mm se reflejaron en ganancias en material de menor tamaño, ya que en la maceta no se presentaron pérdidas debido a que ésta no presentaba perforaciones. (Figura 16)

En el caso del pasto, al año los agregados de mayor tamaño (>10.0 mm), en el tratamiento P se presentó un incremento y a los dos años, con todos los tratamientos se presentó una disminución. Por el contrario, los agregados de 5.0-10.0 mm se incrementaron significativamente. Con P y PE en la etapa uno se presentó una disminución de los agregados de 2.0-5.0 mm, pero en la etapa dos hubo un aumento significativo con respecto a la etapa uno. En el intervalo de 1.0-2.0 mm se presentó una disminución en la etapa uno, excepto con el PEF el cual presentó un aumento significativo. En la etapa dos hubo una disminución significativa de dichos agregados con PF y PEF, así como un

incremento en P, con respecto a la etapa uno (Tabla 15).

En los agregados de 0.25-1.0 mm se observó un incremento significativo con todos los tratamientos, excepto con el P, con el cual, se presentó una disminución. Los agregados < 0.25 mm presentaron una disminución con el tratamiento P, así como con los tratamientos PF, PE y PEF se tuvo un incremento (Tabla 15).

En el caso del pasto, la raíz se encontraba presente en toda la maceta cubriendo mayor área, a diferencia de la higuera. El material en estos tratamientos estuvo muy compactado debido a que la raíz los cubría totalmente y algunos incluso, permanecieron sujetos porque ésta los había penetrado.

Las diferencias en el empaquetamiento (Fig. 17), se debieron a que las especies vegetales utilizadas presentan diferente tipo de raíz, la higuera presenta una raíz axonomorfa y el pasto, fascicular. Por lo tanto, la raíz de la higuera abarca menor superficie debido a que crece siguiendo un solo eje sin muchas ramificaciones, por lo que la mayoría de los fragmentos unidos a ella se encontraba en el centro. En el caso del pasto, se ramifica varias veces, por lo que pudo cubrir todo el tepetate de la maceta y no dejar agregados sueltos (Velázquez, 1997). El empaquetamiento hace que el material esté compactado y en ocasiones la raíz penetre en los agregados manteniéndolos unidos entre sí, lo que provocó que al momento de sacarlo estuviera más unido el material.

En el caso de los tratamientos con planta, al igual que en los tratamientos sin planta, se presentó una variación en la cantidad de agregados por efecto de los ciclos de humedecimiento y secado, así como por la posible presencia de microorganismos. Aunado a esto, se presentó una variación por la presencia de especies vegetales (higuera y pasto), las cuales contribuyeron a la agregación y la disgregación del material (Reid y Goss, 1981).

Las raíces son fisiológicamente muy activas, ya que presentan secreciones abundantes de mucilago y debido a su crecimiento y a la absorción de nutrimentos, ejercen fuerzas físicas (contracción) sobre el material. Alrededor de las raíces se presentan

modificaciones debido a que forman microclimas. Se presentan fisuras en el material por el humedecimiento, pero una parte se mantiene unido a las raíces, así como el rompimiento y la separación del área cercana a la raíz es ocupada por polisacáridos, los cuales son producto de secreciones de algunos organismos como bacterias y hongos. Con los ciclos de desecación y humedecimiento, la concentración de fisuras en el material que rodea a la raíz se incrementa en número y tamaño (Dorioz *et al.*, 1993).

Los resultados demuestran que existe agregación y disgregación del material (Fig. 18), ya que el porcentaje de agregados varía de una etapa a otra. La disminución de los agregados de mayor tamaño indica que se está presentando una disgregación, pero el aumento de los agregados de menor tamaño indica que también hay una agregación del material.

La presencia de la planta, principalmente las raíces, ayuda a que se presenten procesos de agregación y disgregación. Al crecer las raíces penetran en los fragmentos, rompiéndolos, pero a mismo tiempo van compactando otros, lo que hace que se unan. Bathke *et al.* (1992) mencionan que el paso físico de las raíces y la presencia de algunos animales, pueden producir cambios en las propiedades físicas del suelo, debido a que crean aberturas en el material, pero también ayudan a que se mezcle.

Jastrow y Miller (1998) mencionan, que la presión ejercida por las raíces y por el secado localizado, que se origina por la obtención de agua de la planta, son fuerzas físicas que promueven la formación y degradación de los agregados. Por lo tanto, el tipo de raíz de las diferentes plantas, su densidad y características, influyen en la distribución de tamaño de los agregados.

Las plantas pueden añadir sustancias orgánicas al suelo y además, sus restos pueden ser alterados por la biota (Bathke *et al.*, 1992). Albretch *et al.* (1998) mencionan que existe un amplio rango de componentes orgánicos que pueden influenciar la agregación. Estos pueden involucrar componentes húmicos (ácidos húmicos y fúlvicos) y más comúnmente polisacáridos. La naturaleza, tamaño y localización de los componentes inorgánicos influyen la formación y estabilidad de los agregados.

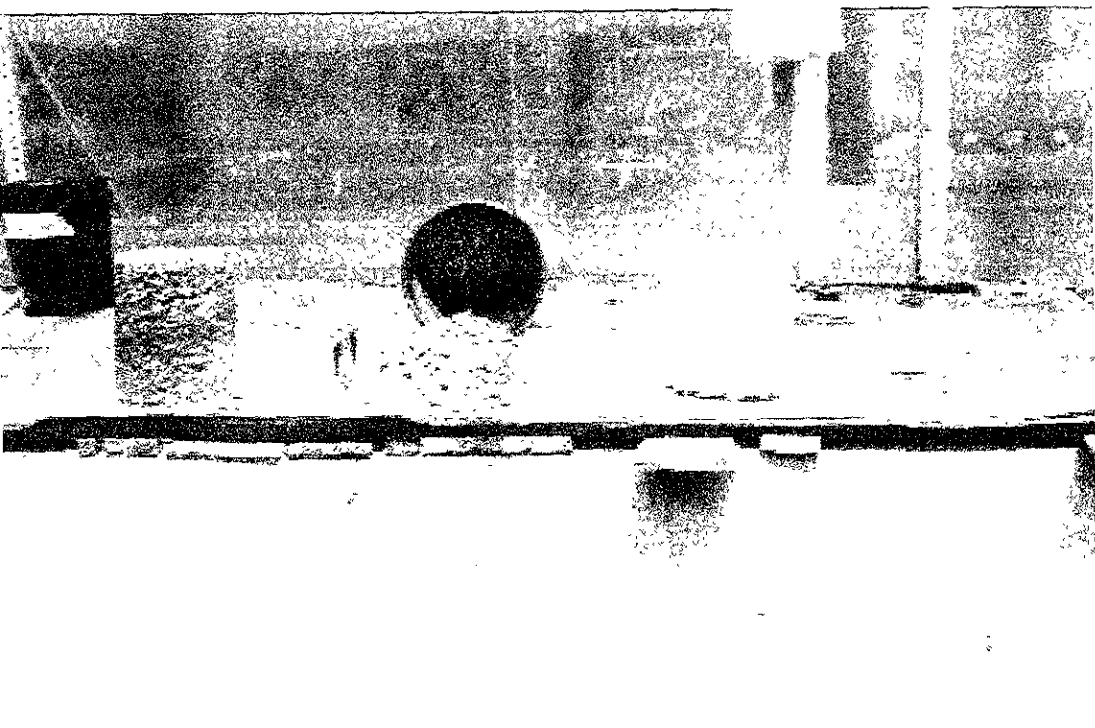


Figura 17. Apariencia del material después de dos años de experimentación



Figura 18. Acrecencias formadas después de dos años de experimentación

7.2.2 Estabilidad

En la tabla 1 del Apéndice, se observa una influencia altamente significativa de las especies sobre la estabilidad de los agregados en todos los intervalos, excepto en los de 1.0-2.0 y > 5.0 mm. Por lo que respecta al tiempo, presentó una influencia altamente significativa, excepto en el intervalo de 3.0-5.0 mm. La interacción especie-tiempo presentó influencia estadísticamente significativa en los agregados de 0.25-0.5 mm. Así como en algunos casos de especie-tiempo fue altamente significativa en el intervalo de 2.0-3.0 mm y en especie-enmienda y etapa-enmienda los intervalos de 0.25-0.5 y 0.5-1.0 mm

En los tratamientos sin planta se observa, en la Tabla 16, que el mayor porcentaje de agregados correspondió a los > 5.0 mm en todas las etapas, presentándose una disminución significativa en todos los tratamientos, con respecto al tiempo, pero también con respecto al TAb. En los agregados de 3.0-5.0 mm se presentó un incremento en la etapa uno del TEF con respecto al TAb y en la etapa dos el TAb se incrementó respecto a los otros tratamientos y al tiempo. En el intervalo de 2.0-3.0 mm, respecto a la etapa inicial, se presentó una disminución en la etapa uno y en la etapa dos un incremento, el cual fue significativamente menor en el TEF respecto a los otros tratamientos. En los agregados de 1.0-2.0 mm se observó un incremento significativo con respecto al tiempo y al TAb en TE y TEF. En el intervalo de 0.5-1.0 y de 0.25-0.5 mm se presentó un incremento respecto al tiempo con todos los tratamientos y respecto a TAb sólo TE presentó un incremento significativo. Los agregados <0.25 mm presentaron un incremento significativo respecto al TAb y al tiempo, con todos los tratamientos.

El que la estabilidad en húmedo y la agregación en seco sean similares en la etapa inicial (Figura 19), es debido a que en la maceta se tenían fragmentos, ya que el material en ésta no presentaba ninguna alteración de cómo se tomó en el campo. Los fragmentos son muy resistentes, debido a la cementación que presentan y sólo por efecto mecánico, en algunos casos, se llegan a romper.

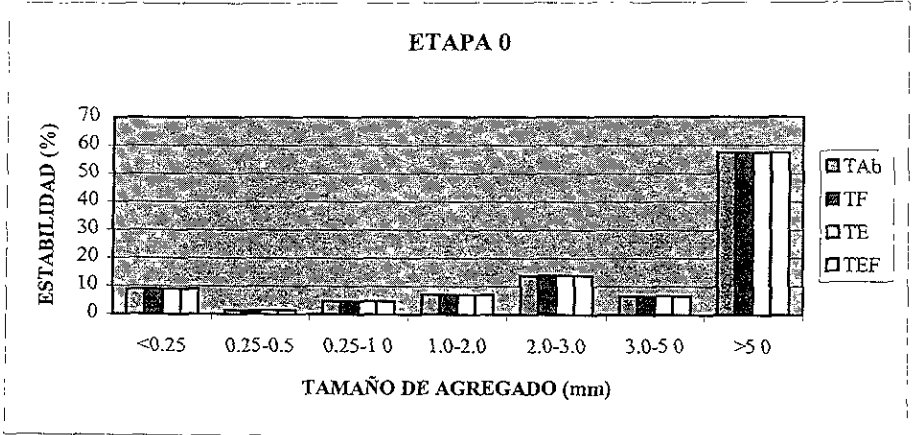
Tab a 16. Porcentajes de estabilidad de agregados en tepetate durante la etapa cero, etapa uno y etapados. Comparación de Medias (tukey)¹

Tratamiento	<0.25 mm			0.25-1.0 mm			0.5-1.0 mm			1.0-2.0 mm		
	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2
TAb	8.95 c	13.60 c	7.02 c	1.41 e	3.74 c	1.78 d	4.65 d	10.56 b	5.80 d	7.09 b	7.80 b	5.34 c
TF	8.95 c	8.05 c	11.4 b	1.41 e	1.46 e	1.75 d	4.65 d	4.59 d	6.05 d	7.09 b	8.00 b	8.00 b
TE	8.95 c	6.55 c	11.85 b	1.41 e	1.63 e	3.28 c	4.65 d	4.53 d	10.39 b	7.09 b	4.08 c	10.95 a
TEF	8.95 c	6.87 c	12.73 b	1.41 e	0.96 e	2.61 d	4.65 d	2.64 e	7.2 c	7.09 b	6.44 b	8.99 a
H	8.95 c	11.10 c	13.04 b	1.41 e	2.12 d	1.89 d	4.65 d	4.95 d	6.9 c	7.09 b	4.20 c	11.18 a
HF	8.95 c	12.07 c	9.26 c	1.41 e	2.73 d	1.64 e	4.65 d	6.29 c	5.94 d	7.09 b	5.39 c	7.38 b
HE	8.95 c	10.09 b	11.99 b	1.41 e	1.7 e	2.24 d	4.65 d	3.39 e	6.99 c	7.09 b	7.55 b	9.44 a
HEF	8.95 c	10.08 b	16.45 a	1.41 e	2.46 d	4.11 b	4.65 d	6.77 c	11.03 b	7.09 b	5.64 c	8.63 a
P	8.95 c	10.69 b	13.35 b	1.41 e	3.21 c	2.23 d	4.65 d	8.13 c	6.67 c	7.09 b	11.34 a	9.01 a
PF	8.95 c	12.96 b	17.27 a	1.41 e	5.05 a	5.07 a	4.65 d	12.24 a	14.34 a	7.09 b	6.25 b	8.07 b
PE	8.95 c	15.82 b	12.68 b	1.41 e	1.97 d	2.74 d	4.65 d	4.49 d	7.32 c	7.09 b	6.47 b	7.79 b
PEF	8.95 c	16.02 a	13.13 b	1.41 e	2.16 d	6.04 a	4.65 d	6.65 c	13.94 a	7.09 b	7.31 b	6.84 b

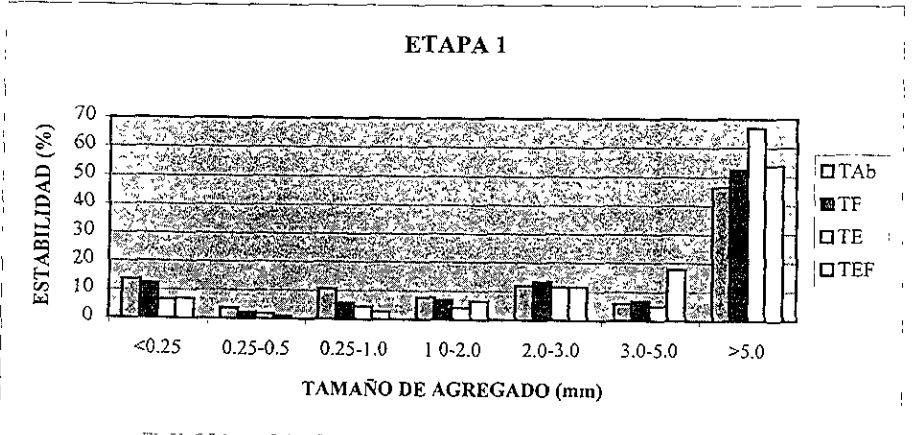
Tratamiento	2.0-3.0 mm			3.0-5.0 mm			>5.0 mm		
	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 0	Etapa 1	Etapa 2
TAb	13.85 b	12.00 c	21.62 a	6.63 c	5.93 c	9.39 b	57.41 b	46.37 c	49.04 b
TF	13.85 b	12.60 c	18.56 a	6.63 c	5.77 c	7.21 c	57.41 b	58.02 a	47.02 c
TE	13.85 b	11.43 c	19.87 a	6.63 c	4.93 c	7.19 c	57.41 b	66.85 a	36.46 d
TEF	13.85 b	11.51 c	16.83 b	6.63 c	17.85 a	8.42 c	57.41 b	53.71 b	43.21 c
H	13.85 b	9.92 c	13.26 b	6.63 c	3.32 d	9.99 b	57.41 b	64.38 a	43.74 c
HF	13.85 b	10.54 c	18.63 a	6.63 c	4.68 c	7.89 c	57.41 b	58.28 a	49.25 b
HE	13.85 b	12.84 b	12.64 c	6.63 c	5.28 c	6.34 c	57.41 b	59.14 a	50.35 b
HEF	13.85 b	14.20 b	8.30 cd	6.63 c	5.84 c	5.34 c	57.41 b	55.00 a	46.14 c
P	13.85 b	13.3 b	12.30 c	6.63 c	4.79 c	6.38 c	57.41 b	48.53 b	50.05 b
PF	13.85 b	8.05 d	10.41 c	6.63 c	3.59 d	3.82 d	57.41 b	51.83 b	41.01 c
PE	13.85 b	9.38 c	14.89 b	6.63 c	3.06 d	6.09 c	57.41 b	58.79 b	48.48 c
PEF	13.85 b	6.79 d	9.04 c	6.63 c	2.91 d	4.24 d	57.41 b	58.14 a	46.72 c

¹ Las letras ubicadas después de los valores, corresponden a la significancia estadística por columna y por renglón ($p= 0.01$).

a)



b)



c)

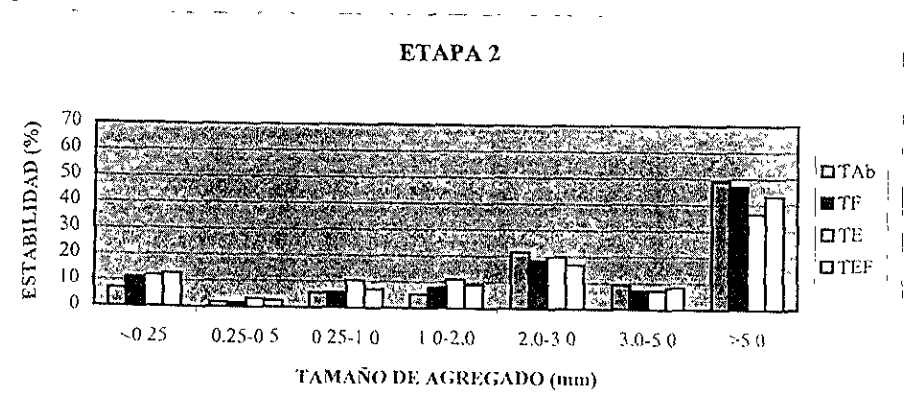
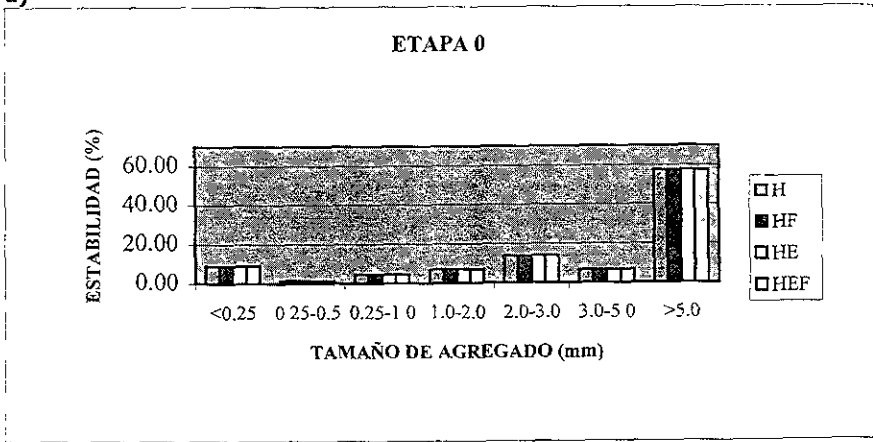
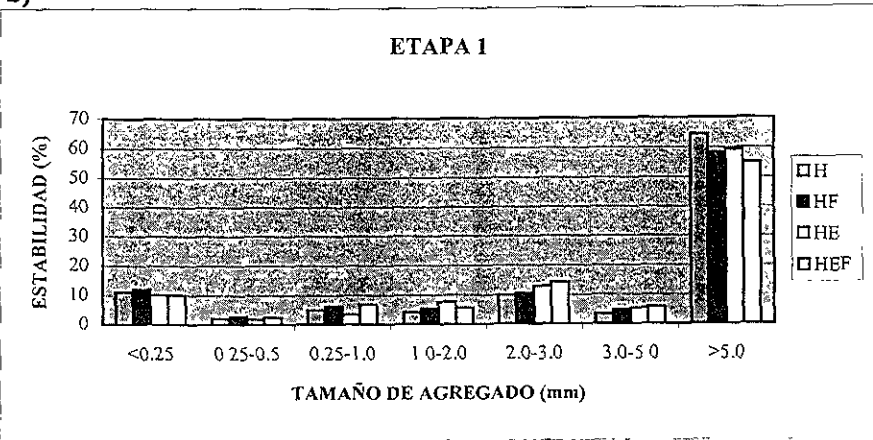


Figura 19. Porcentaje de estabilidad del tepetate con los tratamientos sin planta durante a) etapa cero, b) etapa uno y c) etapa dos

a)



b)



c)

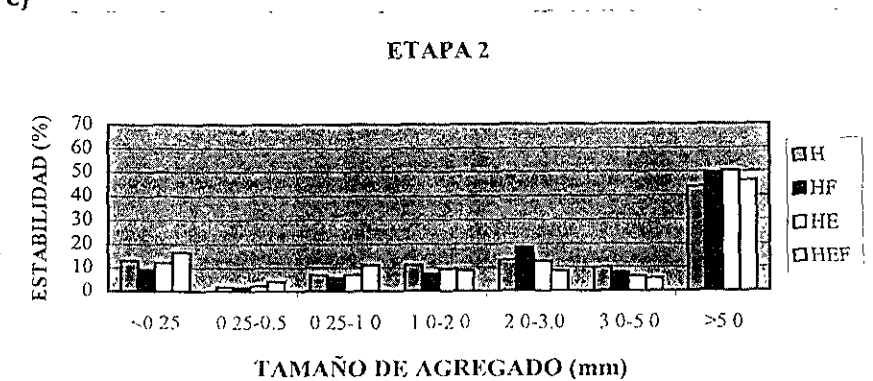
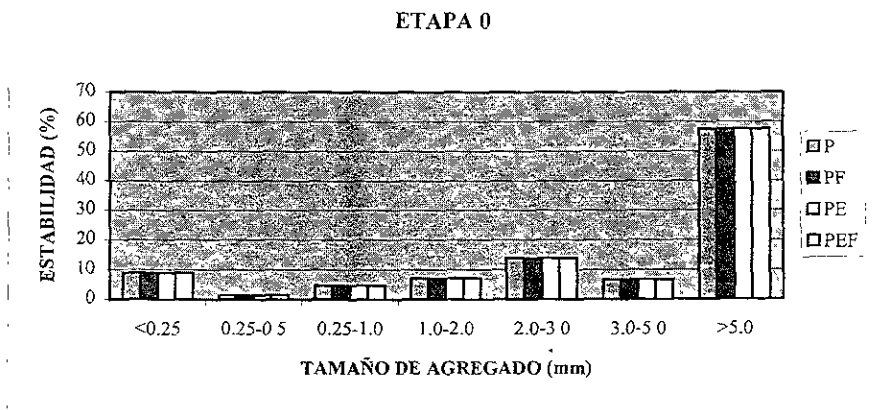
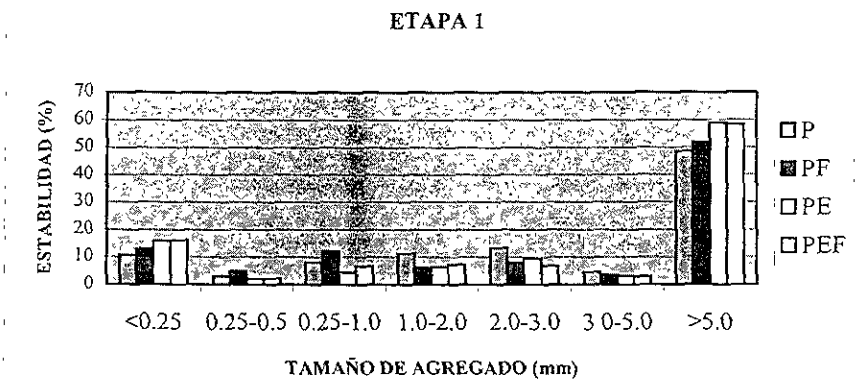


Figura 20 Porcentaje de estabilidad del tepetate con higuera durante a) etapa cero, b) etapa uno y c) etapa dos

a)



b)



c)

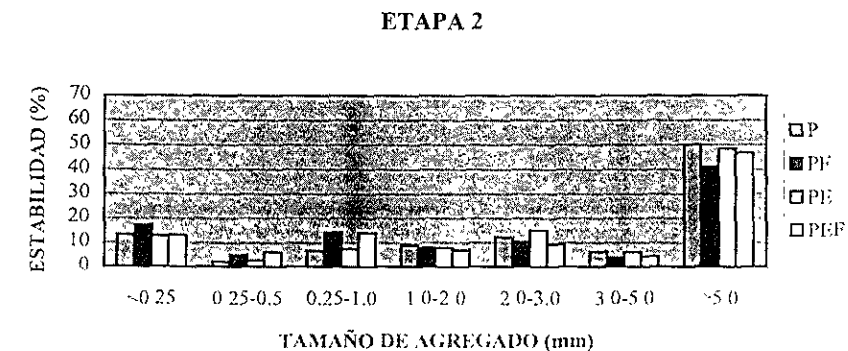


Figura 21. Porcentaje de estabilidad del tepetate con pasto durante a) etapa cero, b) etapa uno y c) etapa dos

Por el contrario, con el paso del tiempo y por efecto de las especies vegetales, así como por la materia orgánica, se forman agregados, los cuales fueron menos estables al agua, ya que presentaron poros, así como las uniones que pueden romperse fácilmente por el efecto del tamizado, por no ser muy fuertes, debido a que se trata del proceso inicial de agregación.

Los agregados que mayor estabilidad presentaron a lo largo del tiempo fueron los correspondientes al intervalo > 5.0 mm (Figura 19), debido tal vez a que son fragmentos que se están rompiendo, lo cual indica que se presentó una disgregación del material, pero la estabilidad se mantuvo alta debido a la cementación que presenta en estado original.

El que los agregados de 3.0-5.0 mm presentaran menos variaciones a lo largo del tiempo, quiere decir que este tamaño tiene una estabilidad mayor que los otros, en los cuales hubo mayor variación en el porcentaje de estabilidad. Así como, el incremento en los agregados < 0.25 mm, lo cual se debió a que muchos de los agregados que se rompieron fueron pasando material a este intervalo, lo que indica que éstos son también más estables que los demás.

La estabilidad de los agregados en los tratamientos sin planta pudo ser debida a agentes cementantes, los cuales pueden ser inorgánicos, asociaciones órgano-minerales u orgánicos (Tisdall y Oades, 1982), debido a la posible presencia de microorganismos, así como por la materia orgánica, la cual puede ayudar a unir los agregados, ya que pueden aportar compuestos que actúan como enlace para mantenerlos unidos.

Las uniones que se presentan entre las partículas y fragmentos de tepetate para formar los agregados son transitorias, motivo por el cual tienen poca estabilidad. Tisdall y Oades (1982), mencionan que estos agentes son compuestos orgánicos producto de la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos, pero la acción de éstos es continua y los compuestos son rápidamente degradados, un ejemplo son los polisacáridos. Los compuestos orgánicos estabilizan el material, ya que forman

asociaciones órgano-minerales, que funcionan como agentes cementantes en los agregados, particularmente en los menores de 250 μm , razón por la que son más estables.

El principal factor que influyó en la estabilidad de los tratamientos sin planta, fueron los ciclos de humedecimiento y secado, Utomo y Dexter (1982), mencionan que estos ciclos tienen un efecto sobre la estabilidad de los agregados. Dichos autores obtuvieron resultados, en los que el potencial de agua presentaba diferentes efectos en la estabilidad de los agregados. Mencionan, que sus observaciones son congruentes con el concepto de que la tensión mecánica es generada dentro de la masa del suelo por compactación local y por tensión efectiva, resultado de la interacción entre el potencial de agua y las partículas del suelo.

En los tratamientos con planta (Tabla 16), se observó un incremento en la etapa uno del porcentaje de agregados > 5.0 mm, con los tratamientos con higuera, excepto con HEF y en el caso del pasto, el único con el que se incrementó fue con el PEF. En la etapa dos se presentó una disminución con respecto a la etapa uno, con todos los tratamientos, excepto con P. En el intervalo de 3.0-5.0 mm, se observó una disminución significativa con el tratamiento con higuera en la etapa uno y, en la etapa dos, un incremento con respecto a la etapa inicial. En el caso del pasto, hubo una disminución significativa en todos los tratamientos, excepto con P. Los agregados de 2.0-3.0 mm presentaron una disminución en la etapa uno y en la etapa dos, un incremento con los tratamientos HF, PF y PE, con respecto a la etapa uno y una disminución con HE, P y PEF.

El porcentaje de estabilidad del intervalo de 1.0-2.0 mm presentó una disminución en la etapa uno con todos los tratamientos con higuera, excepto HE, así como en la etapa dos, la higuera favoreció un incremento. En el caso del pasto, el único tratamiento que presenta cambios significativos fue el P, con el cual se incrementó el porcentaje con respecto al tiempo. El intervalo de 0.5-1.0 mm presentó un aumento en la estabilidad de los agregados, respecto al tiempo, presentándose los porcentajes más altos en el caso de la higuera con el tratamiento HEF y en pasto el PF y PEF.

En el intervalo de 0.25-0.5 mm y en el de < 0.25 mm, se presentó un incremento en el porcentaje de estabilidad, con respecto a la etapa cero, con todos los tratamientos que presentaban planta, excepto con HF en el intervalo 0.25-0.5 mm.

En las figuras 20 y 21 se puede observar, que al igual que en los tratamientos con planta, los agregados $>$ de 5 mm fueron los que presentaron mayor estabilidad, por lo que predominaron en el contenido total de la maceta, así como los $<$ de 0.25 mm, son los que se incrementaron y los del intervalo de 3.0-5.0 mm, son los que menor cambio presentaron, lo que significa que este intervalo es más estable, por lo que los agregados tienden a quedarse en este tamaño o pasar al menor (< 0.25 mm).

La tendencia al incremento de los agregados de menor tamaño (< 0.25 mm), fue debida a que las uniones entre los microagregados son más fuertes que las uniones que se presentan en los macroagregados, ya que los macroagregados son un conjunto de microagregados. Los macroagregados están sujetos a rompimientos en microagregados, antes que partículas primarias. Tisdall y Oades (1982) mencionan, que la estabilidad de los microagregados no es rota por el rápido humedecimiento y disturbios mecánicos, incluyendo cultivo. En contraste, la estabilidad de los macroagregados es generalmente controlada por las prácticas de manejo y otros disturbios, o por el crecimiento de las raíces y los hongos, así como por los organismos de la rizósfera.

En los tratamientos con planta, aparte de los agentes transitorios, se presentan temporales. Estas uniones se presentan en pocas semanas o meses, como son los sistemas de raíces y el crecimiento de las hifas. Estos agentes se han asociado con los pequeños macroagregados (Tisdall y Oades, 1982).

El incremento en la estabilidad de los agregados en presencia de planta, es debido a las raíces, las cuales tienen un papel importante en la estabilidad de los agregados mayores de 0.25 mm. Jastrow y Miller (1998), mencionan que el efecto directo de las hifas y las raíces puede conceptualizarse por medio de una visión tridimensional, como un "saco pegajoso" que físicamente enreda o envuelve pequeños agregados o partículas, creando así macroagregados estables. No sólo las hifas y las raíces forman una cadena o red que

puede servir como un armazón para los agregados, ya que los mucilagos extracelulares contenidos en la superficie de las raíces e hifas pueden unir fuertemente material inorgánico ayudando a la estabilidad

El incremento de la estabilidad en los tratamientos con planta pudo ser debido a los compuestos que liberan las raíces así como de los organismos que se encuentran a su alrededor. Jastrow and Miller (1998) mencionan, que los exudados y los depósitos en la rizósfera, son rápidamente transformados por la actividad de poblaciones microbianas, resultando en la descomposición de polisacáridos. Además, cuando las raíces e hifas mueren, el sustrato orgánico es depositado fuera de los agregados del suelo, donde la actividad de la fauna del suelo, hongos y bacterias lo reducen, formando un depósito.

7.2.3 Relación Estabilidad –Materia Orgánica

La materia orgánica también tiene un papel importante sobre la estabilidad, ya que sirve como agente de unión entre los agregados formados, proporcionándoles mayor estabilidad. La materia orgánica en los tratamientos fue aportada por el estiércol de bovino, así como por la planta, la cual incrementa el contenido por medio de exudados de las raíces, así como por la descomposición de las mismas. Los microorganismos también tienen un efecto en la estabilidad de los agregados ya que aportan materia orgánica, también las hifas de los hongos, tienen un papel mecánico al poder envolver algunas partículas y mantenerlas unidas entre sí (Wild y Jones, 1992).

La estabilidad de los microagregados es debida principalmente a compuestos orgánicos, los cuales son más duraderos, lo que permite una mayor estabilidad. Un incremento en la cantidad de materia orgánica ayuda a incrementar la formación y la estabilidad de los agregados(Jastrow y Miller, 1998).

Como se mencionó anteriormente el porcentaje de materia orgánica en la etapa dos se incrementó con respecto a la etapa inicial con todos los tratamientos, igual que el porcentaje de microagregados, lo cual puede indicar, que existe una relación entre ambas variables, sin que ésta sea directamente proporcional.

En la figura 22, se observa que a pesar de haberse incrementado el porcentaje de materia orgánica y de estabilidad respecto al estado inicial, los tratamientos con mayor contenido de materia orgánica no necesariamente son los que presentan mayor estabilidad. Se observa que con los tratamientos sin planta se presentó un incremento tanto en el porcentaje de materia orgánica, como de estabilidad uniforme, excepto en la interacción de estiércol y fertilizante. Pero cuando hay presencia de especies vegetales, el mayor incremento en estabilidad no necesariamente se presentó con el mayor contenido de materia orgánica.

Las diferencias entre los tratamientos no sólo se debieron a la cantidad de materia orgánica, sino que también se presentaron por influencia de la planta, la cual pudo contribuir a la estabilidad de los agregados de manera mecánica o por el aporte de exudados, lo cual hace que haya un comportamiento diferente tanto en la estabilidad como en el contenido de materia orgánica.

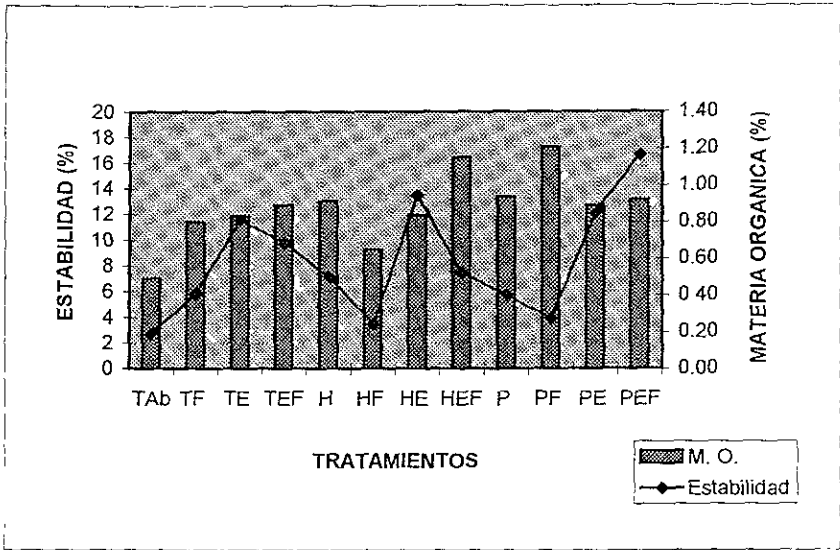


Figura 22. Relación entre el porcentaje de materia orgánica y la estabilidad de los microagregados, después de dos años de experimentación

7.3 Discusión General

La pérdida de suelo por efecto de la erosión es un problema que va en aumento, debido a la falta de técnicas adecuadas para el manejo de las tierras de cultivo, provocando así que se presenten zonas totalmente improductivas y que por lo tanto, no son aprovechadas. Uno de los materiales que aflora al perderse la capa de suelo es lo que se conoce como "tepetate", el cual presenta problemas para establecer cultivos debido, principalmente, a la baja cantidad de materia orgánica y a su dureza.

Para poder establecer un cultivo, es necesario que el suelo tenga características químicas (pH, M.O., Bases intercambiables, CICT) y físicas (Agregación, Estabilidad, Porosidad, Aireación) adecuadas, para que se pueda desarrollar correctamente la planta. Esto depende de los nutrimentos que pueda aportar el suelo, así como de que las partículas primarias tengan un arreglo adecuado que permita el crecimiento de raíces.

Se debe de tener en cuenta, que la planta y el suelo están directamente relacionados, ya que éste modifica sus características por la presencia de la planta, pero para que ésta se desarrolle, necesita tener unas mínimas condiciones edáficas. La interacción es constante, por lo que al modificar las características del suelo, se tendrá también un efecto sobre la planta y viceversa, al establecer diferentes cultivos, las características del suelo pueden variar. Por lo que, dependiendo de las características del suelo, es el cultivo que se establece.

En el caso del tepetate, se presenta la problemática de que es pobre en materia orgánica y no presenta agregación del material, debido a la cementación, por lo que el crecimiento de plantas es casi nulo. Para que se comience la habilitación para el cultivo, es necesario agregar materia orgánica que aporte los nutrimentos necesarios, por lo que se puede agregar abono de bovino y fertilizante, los cuales, como se pudo observar, incrementan la cantidad de materia orgánica en el tepetate, la cual a su vez, modifica otras características como son las bases intercambiables (Na, Ca, K y Mg), el pH, la capacidad de intercambio catiónico total, las cuales indican la cantidad de nutrimentos disponibles en el suelo, es decir, reflejan un cambio en la fertilidad del tepetate.

La presencia de agregados es una característica importante para el crecimiento de las plantas, ya que cuando no los hay, como en el caso del tepetate, las raíces no pueden penetrar, no tienen un soporte, ni tampoco se favorece la absorción de nutrimentos. Por tanto, en el proceso de habilitación de los tepetates es necesario primero roturarlos para que la planta pueda establecerse y fomentar la formación de agregados, así como su estabilidad, ya que no sólo es importante su formación, sino que permanezcan después de las labores agrícolas y la lluvia. En este experimento se observó que la estabilidad de los agregados se puede incrementar por la presencia de especies vegetales, la adición de abono y fertilizante. La estructura del suelo no sólo indica la susceptibilidad a la erosión, sino que también impacta en la densidad de las raíces, formación de poros, capacidad de almacenamiento de agua e infiltración, entre otros procesos.

Las enmiendas como el abonado, el cultivo y manejo, tienen una influencia a mediano y largo plazo, en las características físicas y químicas del tepetate, por lo que con este trabajo, se pretendió aportar información sobre el efecto de algunas enmiendas para mejorar las características del tepetate. Tomando en cuenta que éstas deben estar al alcance del agricultor, se utilizó fertilizante y abono de bovino, los cuales son de fácil obtención en la zona y se consideraron dos especies vegetales, una frutícola (Ficus carica L.) y una forrajera (Chloris gayana, Kunth), las cuales son opciones que pueden ser elegidas dependiendo de las condiciones tanto climáticas, económicas y sociales de la zona y de las necesidades de la población involucrada.

Aplicando estas enmiendas se observó que la estructura del tepetate mejoró, debido a que con la presencia de especies vegetales se favoreció la formación de agregados y su estabilidad, presentándose una mejor respuesta con el pasto Rhodes. La aplicación de abono y fertilizante benefició el crecimiento de la planta y la formación de agregados, debido a la presencia de materia orgánica en el suelo, lo cual se reflejó en un incremento en la estabilidad de los mismos.

Cabe mencionar, que es necesario realizar más trabajos sobre el tema, debido a que en este estudio los resultados mostraron que sí se pueden habilitar los tepetates, ya que sus

características cambiaron favorablemente, permitiendo el desarrollo de las plantas en condiciones de invernadero. Se deben realizar estudios con otras especies vegetales, así como en condiciones de campo, ya que en estos casos las condiciones son variables, pero este trabajo se puede tomar como base.

VIII Conclusiones

- La presencia de las especies vegetales Higuera (Ficus carica L.) y pasto Rhodes (Chloris gayana Kunth), abono y fertilizante, propiciaron una modificación favorable de las características físicas y químicas del tepetate.
- Las especies vegetales, por medio de su sistema radical, incrementaron la disgregación y agregación del tepetate favoreciendo su estructuración.
- El pasto Rhodes (Chloris gayana Kunth) presentó un mayor efecto sobre la agregación del tepetate con respecto a la Higuera (Ficus carica L.), debido principalmente a su tipo de raíz.
- Las enmiendas de abonado y fertilizante, contribuyeron a la formación de agregados, siendo el abono el que mayor contribución presentó.
- La estabilidad de los agregados formados, se incrementó por la presencia de las especies vegetales, siendo mayor en los tratamientos con pasto.
- Los agregados más estables fueron los que presentaron un tamaño entre 3.0-5.0 mm, los cuales también permitieron un óptimo crecimiento de la planta.
- La estabilidad de los microagregados se incrementó en los tratamientos que presentaron mayor porcentaje de materia orgánica.
- Las características del tepetate, en las condiciones probadas, permitieron el desarrollo de la higuera (Ficus carica L.) y del pasto Rhodes (Chloris gayana Kunth) de manera satisfactoria.

IX LITERATURA CITADA

- ❖ Acevedo, S. O. and Flores, R.D. 2000. Genesis of white fragipans of volcanic origin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 17(2): 152-162
- ❖ Albretch, A. Angers D.A. Beare, M. and Blanchart E. 1998. Soil aggregation, soil organic matter and soil biota interactions: implications for soil fertility recapitalization in the tropics.
- ❖ Alvarez, J.D. Ferrera-Cerrato, R. y Zebrowski C. 1992. Analisis de la microflora asociada al manejo agroecologico en la recuperación de tepetates. *Terra 10* (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 419-424
- ❖ Angers, D.A. Pesant, A. and Vigneur, J. 1992. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial biomass. *Soil Science American Journal* 56: 115-119
- ❖ Arias, H. M. 1992. Tepetate Reclamation: an alternative for agriculture livestock and forestry production. *Terra 10* (numero especial: Suelos volcánicos endurecidos): 309-317
- ❖ Bathke G.R., Cassel D.K., Hargrove W.L. and Porter P.M. 1992. Modificación of soil physical properties and root growth response. *Soil Science*. 146: 316-329
- ❖ Bogdan, A.V. 1977. *Tropical Pasture and Fodder Plants*. Longman. Gran Bretaña. 475 p.
- ❖ Dominguez, V. A. 1997. *Tratado de fertilización*. 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
- ❖ Duke, J. A. 1983. *Handbook of Energy Crops*. Unpublished, in: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Chloris_gayana.html (en internet)
- ❖ Duchaufour, P. 1984. *Edafología 1 Edafogenesis y clasificación*. Masson, S.A. Barcelona p. 27-30
- ❖ Etchevers, J. y Ferrera-Cerrato, R.1994. Fertilidad de los suelos volcánicos endurecidos: Características Químicas y Microbiológicas de los tepetates de México. *In* Etchevers, J. D. Aguila, A. Nuñez, R. Alcantar J. y Sanchez, P. (Eds.) 15º congreso mundial de la ciencia del suelo. Acapulco, México. p.571-589
- ❖ Etchevers, J. Perez, O. M. A. Brito, H. Varga, M. Lopez U. 1998. La fertilidad de los tepetates del eje neovolcanico en los estados de México y Tlaxcala. *In* Navarro, H. Bupon, H.Perez, M.A. Aptitud productiva en suelos volcanicos endurecidos (tepetate), Colegio de Psgraduados. México. 17-36p.p

- ❖ FAO. 2000. en:
<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPC/doc/GBASE/Data/pf000199.HTM> (en Internet).
- ❖ Ferrera-Cerrato R., Ortiz, A. Delgadillo, J. 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. 439p
- ❖ Flores, R.D., Alcalá, M.J.R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1991. Los tepetates. Geografía; Revista del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 3(4): 37-42
- ❖ Flores, R.D., Alcalá, M.J.R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1992 (1993). Suelos con fragipan de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo-el caso del noreste del estado de Morelos, México. Rev. del Inst. de Geología, U.N.A.M. Volumen 10, Número 2 p. 151-163.
- ❖ Flores, R.D., Alcalá, M.J.R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1996. Duripans in subtropical and temperate subhumid climate of the trans-México volcanic belt. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 13(2): 228-239
- ❖ García, E.1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), Ed. Indianápolis, México, D.F., 145 p.
- ❖ Gregory, P.J. 1992. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. *In* Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Mundi-prensa España. p. 121-175
- ❖ Guerrero, E. G., Luna J. L., y Caballero, O.E. 1992. Distribución de los Tepetates en la República Mexicana. Terra 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 131-137
- ❖ Haynes, R. J. and Beare, M. H. 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. Soil Biology and Biochemistry. 20(11/12):1647-1653.
- ❖ INEGI. 2000. Anuario Estadístico Morelos. INEGI, Gobierno del estado de Morelos. Aguascalientes, México. 426 p.
- ❖ Instituto de Cultura de Morelos, 2000. Lugares de interés cultural, histórico y natural por municipio: <http://culturamorelos.gob.mx/> (en Internet)

- ❖ Jastrow J.D. and Miller R.M. 1998. Soil Aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. *In* Lal, R., Kimble, J.M., Follet R. R. And Stewart B. A. (Editors). Soil processes and the carbon cycle. CRC press. New York. USA. 609p
- ❖ Kaúrichev, I. S., Panov, N. P., Stratonóvich, M. V. y Greechin, I. P. 1980. Prácticas de edafología. Mir. Moscu. 276 p.
- ❖ Kemper, W. D. and Chepil, W. S. 1965. Size distribution of aggregates. *In* Black, C.A., D.D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark (editors). Methods of soil analysis. Part. 1 Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. American Society of Agronomy, Inc., publishers. Madison, Wisconsin, USA. p. 499-509
- ❖ Le bissonnais, Y. 1995. Soil Characteristics and aggregate stability. *In* Agassi, M (editor). Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation. Marcel Dekker, Inc. USA. 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.
- ❖ Marañón G. G. 1994. Caracterización de suelos con tepetates y su relación con la vegetación en el municipio de Tetela del Volcán, Estado de Morelos. Tesis Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 90 p.
- ❖ Martínez G. L. y Chacalo, M. A. 1994 los árboles de la Ciudad de México. UAM. México. 35 p.
- ❖ Marshall, T. J., Holmes J. and Rose, C. 1996. Soil Physics. Cambridge. USA. 452 p.
- ❖ Nadler, A. 1993. Trends in structure, plant growth and microorganisms interrelations in the soil. *Soil Science* (155): 114-122
- ❖ Nimlos T. 1989. The density and strength of Mexican tepetate (duric materials). *Soil Science* (147): 23-27
- ❖ Nimlos, T y Hillary, P. 1990. The strength/moisture relations and hydraulic conductivity of mexican tepetate. *Soil Science* (150): 425-430
- ❖ Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* (56): 377-400
- ❖ Oleschko, L.K. 1995. Prácticas físicas de suelos. Apuntes. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Mexico. 110 p.

- ❖ Potash and Phosphate Institute. 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Potash and Phosphate Institute. USA. 130 p.
- ❖ Pérez, M.A, Etchevers, J., Navarro, H., Nuñez, R. 2000. Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia* 34(2): 115-125
- ❖ Quantin, P. 1997. Caracterización y génesis de los horizontes endurecidos de suelos volcánicos. In C. Zebrowski, P. Quantin y G. Trujillo (Eds.). III Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. p.
- ❖ Ruiz, F. J. F. 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 222 p.
- ❖ Sánchez, J.M.; Ruiz, F.J.f. y Cautle, F.E. 1987 Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero. In J.F. Ruiz F. (ed) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. p. 58-68
- ❖ Shiel, R.S., Adey, M.A. 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
- ❖ Simpson, K. 1991. Abonos y estiércoles. Acriba. España. 91-116 p.
- ❖ Six J., Paustian K., Elliot E.T. and Combrink C. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (64):681-689
- ❖ Soil Survey staff. 1994. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey: Washington, D.C., U, S. Department of Agriculture, Soil Survey Investigations, Report 1, U.S. Government printing office, 90 p.
- ❖ Tisdall, J.M., 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil*(159): 115-121
- ❖ Tisdall, J. M. and Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* (33):141-163
- ❖ Troeh, F. And Thompson L. 1993. Soils and soil fertility. 5° ed. Oxford University press. USA. p. 89-147
- ❖ Utomo W.H. and Dexter A. R. 1982. Changes in soil aggregate, water stability, induced by wetting and drying cycles in son-saturated soil. *Journal of soil Science* 33: 623-637

- ❖ Vázquez, C., Batiz, M., A., Alcocer S., M., Gual, D., M. y Sánchez D., S. 2000. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación, Proyecto J-084- CONABIO:
<http://www.conabio.gob.mx/arboles/pdfespecies/50-morac5m.pdf> (en internet).
- ❖ Velázquez, R.A.S. 1994. Efecto de diferentes cultivos sobre la disgregación y alteración de tepetates del estado de Morelos en condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 125 p.
- ❖ 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. México, D.F. 147 p
- ❖ Velázquez, R. A. S. y Flores R. D. 1997. Formación de agregados estables a partir de un duripán del estado de Morelos (México) por parte de especies vegetales perennes en condiciones de invernadero. *In* C. Zebrowski, P. Quantín y G. Trujillo (Eds.). III Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. p. 170-177
- ❖ Wild, A. y Jones, L.H. 1992. Nutrición mineral de las plantas cultivadas. *In* Wild A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Mundi-prensa España. p. 73-119
- ❖ Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América latina. Terra 10 (Núm. Especial Suelos Volcánicos Endurecidos): 15-23.

Tabla 1. Análisis de Varianza para los tratamientos estudiados (Valores de F)

Variable	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	C. V.
pH (agua)	30.68**	26.17**	13.34**	3.10**	1.3	1.72	2.32*	2 28
pH (KCl)	30.72**	274.02**	17.60**	8.10**	0.83	4.69**	0.44	2.24
M. O.	1.65	9.82**	0.9	11.02**	0.42	3.72**	1.27	60.39
C. I. C. T.	0.49	11.91**	0.18	0.68	0.89	0.4	0.52	10.69
Ca	0.15	13.73**	0.09	0.78	2.25**	0.62	1.06	12 66
Mg	2.12*	15.61**	1.29	0.76	0.71	0.58	1.21	17.18
Na	8.91**	87.07**	2.51**	1.74	0.44	1.43	0.89	22.43
K	7.02**	37.59**	2.53**	36.26**	1.5	9.42**	1.31	22 37
S. B.	0.14	17.16**	0.53	0.71	0.8	0.26	0.74	14.13
Agreg < 0.25	1.95*	5.16**	0.99	2.57**	3.66**	1.13**	1.87*	27 88
Agreg 0.25-1.0	2.00*	1.34	0.55	3.16**	3.52**	0.8	1.12	41.94
Agreg 1.0-2.0	0.92	8.18**	0.49	4.90**	2.99**	1.98*	1.95*	20 31
Agreg 2.0-5.0	11.47**	7.36**	3.15**	3.19**	1.74	2.37**	2.14**	16 2
Agreg 5.0-10.0	2.23*	27.92**	0.73	0.12	1.04	0.24	0.39	16.71
Agreg > 10.0	2.61**	10.53**	0.67	5.26**	2.39**	2.01*	1.67	17.3
Estab < 0.25	4.49**	7.30**	1.3	0.19	0.33	0.39	1.38	42.4
Estab 0.2-0.5	6.54**	15.56**	1.92*	1.2	2.58**	3.9**	1.13	60 64
Estab 0.5-1.0	4.51**	15.72	1.2	1.21	3.02**	2.7**	1.25	52 69
Estab 1.0-2.0	0.12	3.42**	0.98	0.25	0.65	0.38	1 05	46 76
Estab 2.0-3.0	4.28**	5.48**	2.38**	0.72	0.38	0.62	0.6	42 81
Estab 3.0-5.0	2.67**	0.61	1	0.45	0.76	0.9	0 53	88 35
Estab > 5.0	0 5	14 98**	0 32	0 24	0 28	0 53	0 82	21 45

* Significativo (p= 0.05)

** Altamente Significativo (p=0.01)

A: Especie

B. Tiempo

C. Enmienda

Tabla 2 Composición del estiércol y Fertilizante

Estiércol: 32% de materia seca
0.7 % de Nitrógeno
0.6 %t de P_2O_5
0.8 % de K_2O
0.4 % de MgO

Fuente: Domínguez, 1997

Superfosfato simple 18% P_2O_5
26% CaO

Fuente: Domínguez, 1997

Sulfato de amonio 21% de Nitrógeno
24% de Azufre

Fuente: Domínguez, 1997

Cloruro de potasio 60-62% de K_2O
45-47% de Cl

Fuente Potash and Phosphate Institute, 1997

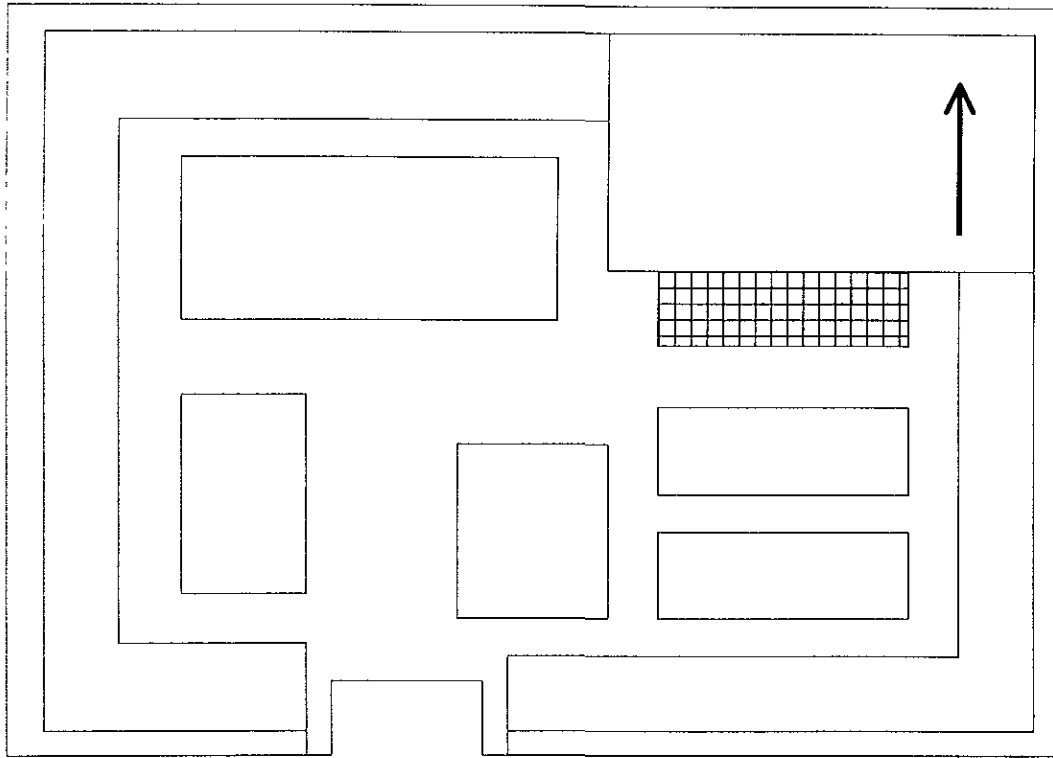


Figura 1. Ubicación del experimento en el invernadero del Instituto de Geología, UNAM.

Figura 2. Distribución de los tratamientos en el invernadero

TEF1	HE1	TF12	PF11	HE11	TEF2	TAB1V1	PF1	TAB1V2	PE1V1	PEF112	TE11	TE1	TEF111	PI1	PIV2	HE1V2	HE1	TF1V1	PE111	HEF1V2	TE112	TE1V1	PE12
TEF1	P2	TAB11	TE12	TF12	HE12	PEF111	PEF1V2	HE1V1	HF1V1	HF112	TF112	PEF11	TE12	TAB111	HI1	HEF11	PEF112	PI1	HF11	HF1	TAB112	PI12	PEF11
TEF2	TE1	TF1V2	HEF111	TEV2	HF1V1	HEF1V1	HI2	PF11	PIV1	PE112	HEF112	HF111	PE111	TAB112	TE111	PF12	TAB12	HEF112	HF12	HI11	TAB11	PF112	TF11
P2	PEF11	TEF11	TF111	HI12	HEF111	PI11	HE112	PEF12	PEF1V1	PI112	HE112	PE112	PF112	HF112	HI1V2	TEF1V2	TEF112	PF1V1	PE11	HF1V2	PE1V2	HI1	HEF12

T: Testigo

E: Estiércol

I: Repetición

H: higuera

F: fertilizante

1: Etapa

P: Pasto