

54



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"INFLUENCIA DE ESPECIES VEGETALES, ABONO Y FERTILIZANTE, SOBRE ALGUNAS DE LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE TEPETATE FRAGMENTADO, EN CONDICIONES DE CAMPO".

297143

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 ;  
JESSICA IVETTE DIAZ AVELAR



DIRECTOR DE TESIS: DR. DAVID FLORES ROMAN

COMISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION SECULAR

2601



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**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:

"Influencia de especies vegetales, abono y fertilizante, sobre algunas de las características químicas de tepetate fragmentado, en condiciones de campo"

realizado por Jessica Ivette Díaz Avelar

con número de cuenta 97555322 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

Dr. David Flores Román

Propietario

M. en C. Irene Pisanty Baruch

Propietario

M. en C. Alma Socorro Velázquez Rodríguez

Suplente

M. en C. Ma. Guadalupe Tsuzuki Reyes

Suplente

M. en C. Gilberto Vela Correa

FACULTAD DE CIENCIAS  
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

Dra. Patricia Ramos Morales

DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

Cap.

Comienzo de

Final

*A mis Padres*



## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada me gustaría agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de lograr esta meta tan importante en mi vida. A mis padres por ser tan lindos conmigo al brindarme siempre su apoyo en todos los sentidos y demostrarme que confían en mi infinitamente al igual que yo en ellos. Mis hermanos (Winnie y Carlos), que son super importantes para mí, siempre queriéndonos mucho. En especial a mi abuelita chula a la que adoro con todo mi corazón y que admiro muchísimo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y a la Facultad de Ciencias; por la educación brindada durante mis estudios profesionales.

Al Instituto de Geología, Departamento de Edafología y al Laboratorio de Fertilidad de Suelos, por las facilidades brindadas y permitirme el uso de equipo e instalaciones.

De manera muy particular al Dr. David Flores Román por la dirección y supervisión del proyecto, así como el apoyo brindado con sus valiosas aportaciones tanto académicas como personales para la realización del mismo.

A los miembros del Jurado designado por la Facultad de Ciencias que amable y dedicadamente evaluaron mi trabajo de tesis, a los cuales les doy las gracias

- **Presidente:** Dr. David Flores Román
- **Vocal:** M. en C. Irene Pisanty Baruch
- **Secretaria:** M. en C. Alma Socorro Velázquez Rodríguez
- **Suplente:** M. en C. María Guadalupe Tzutzuki Reyes
- **Suplente:** M. en C. Gilberto Vela Correa

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM en particular a PAPIIT por la beca brindada para la realización de la tesis.

De manera extra especial a mis compañeras de trabajo de Tesis, a la M. en C. Alma Socorro Velázquez Rodríguez y a la Biol. Aleida García Cruz, por su gran ayuda, correcciones, compañerismo e infinita paciencia para la realización de la misma. Además, de permitirme compartir el proyecto de trabajo de una forma amena, divertida y profesional.

A todos los miembros del Laboratorio de Fertilidad de Suelos, en especial al Biol. Humberto Núñez Cardona, al M. en C. Gilberto Vela Correa y a las Tánias, Vargas e Izquierdo, por su apoyo, sus consejos, pláticas, risas y compañía.

A mi querida maestra Irene Pisanty, por todos los consejos y aportaciones que me ha dado durante mi estancia en Ciencias, así como fuera de ella, por demostrarme su amistad y por ser una persona tan agradable.

A la Dra. Norma Eugenia García Calderón, junto con todo su equipo del laboratorio de Edafología, de la Facultad de Ciencias de la UNAM por las enseñanzas y consejos durante la realización de la tesis y durante las clases del Taller.

A la M. en C. Guadalupe Tsutzuki, por su tiempo y ayuda para la realización de los análisis microbiológicos, junto con el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Química de la UNAM.

Al Dr. Jorge Enrique Gamma Castro por sus clases, amistad y cooperación brindada durante la realización de la Tesis.

A los señores Benito y Gonzalo Abdón, de la hermosa población de Tetela del volcán, Edo. de Morelos, quienes amablemente facilitaron el terreno donde se realizó el experimento, además de los apoyos brindados en el mantenimiento del mismo.

A la CORENADER del Gobierno del Distrito Federal, en particular al vivero "Netzahualcoyotl" de Xochimilco, D.F., por la donación de las higueras utilizadas en el estudio.

A la familia Ayala Moriss, en especial a Alison por sus consejos y sus valiosas aportaciones de estilo para la realización del abstract.

A mis amigos, la Lic. Gabriela Llorente Mier y Concha y al Ing. Vicente Granados Sánchez, por su amistad, ayuda y momentos tan mágicos compartidos, por la alegría y amor que brindan a mi vida y su apoyo incondicional en todo. A Cush, a Fer Ontiveros y en general a todos mis amigos y familiares, que son tan importantes en todos mis logros.

Muchas Gracias !  
... y no olviden que:

El FUTURO pertenece a aquellos  
que creen en sus sueños!

Jess.

Dr.

Committee of

Final



## INDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
<b>1 Propiedades Químicas Principales del Suelo</b>	<b>5</b>
1.1 Potencial Hidrógeno	6
1.2 Materia Orgánica	7
1.3 Capacidad de Intercambio Cationico Total	8
1.4 Porcentaje de Saturación de Bases	9
<b>2 Tepetates</b>	<b>10</b>
2.1 Características generales	10
2.2 Formación	11
2.3 Clasificación	12
2.4 Distribución en México	15
2.5 Habilitación	17
<b>3 Abonos Orgánicos</b>	<b>18</b>
3.1 Definición	18
3.2 Tipos	18
3.3 Papel dentro del suelo	19
3.4 Importancia	20
<b>4 Fertilizantes Químicos Inorgánicos</b>	<b>21</b>
4.1 Definición	21
4.2 Tipos	21
4.3 Papel dentro del suelo	22
4.4 Importancia	22
<b>5 Especies Vegetales</b>	<b>23</b>
5.1 Higuera ( <i>Ficus carica</i> , L.)	23
5.2 Pasto Rhodes ( <i>Chloris gayana</i> , Kunth.)	26
III. OBJETIVOS	28
1 General	28
2 Especifico	28
IV. HIPÓTESIS	28

V.	ZONA DE ESTUDIO	29
	1 Municipio de Tetela del Volcán	29
	2 Geomorfología	30
	3 Geología	30
	4 Hidrografía	31
	5 Suelos	31
	6 Uso del suelo	31
	7 Clima	32
	8 Vegetación	35
	9 Elección de la Zona de Estudio	35
	10 Caracterización de las Capas Endurecidas	35
VI.	METODOLOGÍA	37
	1 Planteamiento y Diseño del Experimento	37
	2 Desarrollo Experimental	39
	3 Determinaciones Físicas y Químicas	44
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
	1 Potencial Hidrógeno	47
	1.1 pH en Agua	47
	1.2 pH en Cloruro de Potasio	51
	2 Materia Orgánica	54
	3 Capacidad de Intercambio Catiónico Total	58
	4 Bases Intercambiables	59
	4.1 Calcio	61
	4.2 Magnesio	64
	4.3 Sodio	67
	4.4 Potasio	69
	5 Porcentaje de Saturación de Bases	72
	6 Análisis Global	74
VIII.	CONCLUSIONES	76
IX.	LITERATURA CITADA	77
X.	APÉNDICE	83

## RESUMEN

El estudio de los suelos es cada vez más importante y va cobrando más fuerza, debido a que es la base de la vida terrestre y producción de alimentos. Además el suelo es considerado como un recurso no renovable, que generalmente requiere más de una generación humana para regenerarse.

Debido a esto es imperativo realizar proyectos encaminados a su caracterización, habilitación, conservación y protección. En México más del 80% de los suelos presenta algún tipo de erosión, dentro de ellos se encuentran los "tepetates", los cuales son capas endurecidas de origen volcánico que presentan cierto grado de compactación y/o cementación, contienen un bajo porcentaje de materia orgánica, baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo. Estas características los hace ser prácticamente improductivos, no aptos para uso agrícola, forestal o pecuario. El objetivo del presente estudio, fue contribuir al conocimiento de la habilitación de un tepetate al proceso productivo, mediante el empleo de especies vegetales, abono de bovino y fertilizante químico inorgánico.

En este estudio se evaluó el efecto de dos especies vegetales una frutícola (higuera, *Ficus carica* L.) y una forrajera (pasto Rhodes, *Chloris gayana* Kunth), con la adición de estiércol de bovino y fertilizante químico inorgánico (sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y cloruro de potasio), sobre algunas de las características químicas de un tepetate fragmentado tipo duripán de la zona de Tetela del Volcán Estado de Morelos, México, en un periodo de dos años.

Los resultados mostraron que las especies vegetales, la adición de estiércol de bovino y del fertilizante químico inorgánico modificaron las características químicas del tepetate, observándose un incremento en el porcentaje de materia orgánica, que con valores por debajo de 0.5% en estado inicial, llegaron a obtener valores cercanos al 2%. Los valores de pH del tepetate fueron los óptimos para la absorción de los nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas y para el crecimiento de los cultivos. En cuanto a los valores de CICT, se encontró una disminución, al igual que en el contenido de bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ). El por ciento de saturación de bases fue el adecuado, con porcentajes altos.

Las características químicas del tepetate se modificaron de forma tal que permitieron un establecimiento satisfactorio de las especies vegetales evaluadas. Lo cual es un buen indicador del incremento de la fertilidad del tepetate fragmentado. Los mejores resultados en las determinaciones químicas estudiadas, se obtuvieron con los tratamientos que contenían estiércol de bovino y la especie forrajera pasto Rhodes.

## ABSTRACT

Soil studies, are becoming more important day by day and they are taking more force, because soils are the basis of life on land and food production. Besides soils are now considered a non-renewable resource, which in most of the cases takes longer than one human generation to regenerate.

For all these reasons it is imperative to carry out research projects focused on determining soil characterization, qualification, conservation and protection. In Mexico more than 80% of soils show some type of erosion, below these soils we can find "tepetates", which are indurate layers of volcanic origins that present some level of compactation or cementation, they have low percentages of organic matter and low availability of nutrients like nitrogen or phosphorous. All of these characteristics make tepetates unproductive and not suitable for agriculture, forestry or grazing. The aim of these study is to contribute to present day knowledge for the restoration of a fragmented "tepetate" through a productive process, by using and incorporating plant species, bovine manure and inorganic fertilizer.

In this study the effects of two different plant species, a fruit fig tree (*Ficus carica* L.) and a grass, Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth), plus bovine manure and inorganic fertilizer (ammonia sulfate, super phosphate and potassium chloride), were evaluated during a period of two years. Measurements were made at zero, twelve and twenty four months, to determine their effect on the chemical characteristics of a fragmented "tepetate" (duripan) at Tetela del Volcán, state of Morelos, Mexico.

Results showed that plant species, with the addition of bovine manure and inorganic fertilizer could modify chemical properties of "tepetate". This was seen as a high increase on the percentage of organic matter, that since values below 0.5% at the initial stage, could reach values near 2%, also the pH values presented in all the stages on the tepetate, were optimum for the absorption of necessary nutrients for plant growth and a good development of all crops. For the CEC and the exchangeable bases ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$ ) values were decreased however the percentage of base saturation maintained an adequate high level.

The chemical properties of the tepetate were indeed modified, in such a way that allowed a satisfactory establishment of plant species studied. This result is a good indicator of the increase of "tepetate" fertility, best results being obtained by the treatments with bovine manure and the Rhodes grass.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los suelos en México aún no es lo suficientemente sólido para poder enfrentar la creciente problemática de erosión, contaminación y producción de alimentos. Tomando en cuenta que el suelo es la base de vida terrestre, es necesario realizar estudios encaminados a su mejor aprovechamiento y conservación.

Los tepetates son capas endurecidas por procesos de compactación y/o cementación, que presentan limitantes para la producción agropecuaria y forestal, como son la dureza y el bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Aproximadamente la tercera parte del Eje Neovolcánico Mexicano presenta suelos con tepetates y la causa de su afloramiento, es la intervención directa o indirecta del hombre. Ante esto, surge la necesidad de realizar estudios enfocados a su aprovechamiento y habilitación. México es un país que obtiene la mayor parte de sus recursos de los sectores: (1) agrícola, (2) forestal y (3) pecuario, en los cuales, los tepetates pueden ser más o menos productivos, dependiendo del manejo que se les dé y de las acciones de conservación y habilitación a las que estén sujetos.

Al establecer especies vegetales en los tepetates, se favorece su recuperación y aumenta también su productividad. La habilitación de los tepetates se puede llevar a cabo, a través de la fragmentación de la capa dura y de la aplicación de materia orgánica y/o fertilizantes; pero también es necesario considerar el establecimiento de una flora adecuada al ambiente, junto con los microorganismos, para que se mantenga un ciclo natural que permita la formación y desarrollo del suelo.

Estudios previos han demostrado que las especies vegetales constituyen uno de los principales factores que favorecen la formación de suelo, a través de la agregación, debido a los efectos físico-químicos del sistema radical en el sustrato y al aporte significativo de materia orgánica que opera durante su desarrollo. Los pastos han sido usados para evitar la erosión del suelo, ya que poseen fuertes rizomas, crecen en un amplio intervalo de temperaturas, toleran condiciones edáficas variadas y se desarrollan particularmente bien en suelos derivados de cenizas volcánicas. Algunos frutales como: la higuera, el tejocote, el membrillo, el olivo y el durazno, no requieren condiciones

especiales de cultivo, crecen en varios grupos de suelo, por lo que son especies resistentes y agresivas que pueden establecerse en tepetate.

Debido a la importancia de la fertilidad del suelo en la producción de alimentos, es imperativo entender el funcionamiento y las técnicas de aplicación de los abonos y fertilizantes, pues uno de los mayores problemas de erosión está íntimamente relacionado con el bajo aporte de nutrimentos. Los fertilizantes se añaden al suelo para suministrar aquellos elementos que se requieren para la nutrición de las plantas. Los estiércoles son un valioso subproducto secundario de la industria ganadera, que contiene nutrimentos y tiene la ventaja de ser de bajo costo y fácil obtención en zonas agrícola-ganaderas. Los avances obtenidos en las áreas de fisiología vegetal y fisico-química de los suelos, aunados al progreso tecnológico, han conducido a la producción de formas más eficientes de fertilización tanto inorgánica como orgánica.

La química del suelo representa una conexión esencial entre las consideraciones sobre la fertilidad; dentro de las determinaciones más importantes para determinar éste concepto, se encuentran el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico total y las bases intercambiables. Las reacciones presentes dentro del suelo como sistema y que aseguran la existencia de soluciones diluidas de nutrimentos, son indispensables para el crecimiento de las plantas (Troeh y Thompson, 1993).

Con base en lo anterior y con el objeto de evaluar el efecto de las especies vegetales, la aplicación de estiércol y fertilizante, sobre algunas propiedades químicas, consideradas como las cuatro determinaciones más importantes para determinar la fertilidad de un suelo. Lo anterior sobre un tepetate fragmentado, durante un período de dos años. Se utilizó la especie forrajera pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth.) y la especie frutícola higuera (*Ficus carica* L.), las cuales son adaptables a la zona de estudio; con adición de abono de bovino y fertilizante químico inorgánico, para aminorar las características limitantes del tepetate, así como tratar de habilitarlo e incorporarlo al proceso productivo.

## II. ANTECEDENTES

Estudios realizados sobre tepetates, han aportado valiosa información sobre sus características físicas, químicas y biológicas; además, se ha observado que fragmentándolos y adicionándoles abonos y fertilizantes, se ha logrado establecer en ellos una vegetación adecuada. Se han incorporado con éxito algunos cultivos de leguminosas y gramíneas como palo dulce, frijol, alfalfa, haba, maíz, cebada, trigo, pastos y, como parte de programas de reforestación, especies como el eucalipto, pino, casuarina, acacia, oyamel y pirúl, todas ellas con resultados favorables (Camargo y Guido, 1987; Pedraza *et al.*, 1987; Navarro y Zebrowski, 1992; Velázquez, 1994 y 1997; Acevedo, 1997). Se debe tomar en cuenta que en los tepetates existe una disgregación del material, que con el paso del tiempo afecta a los fragmentos del mismo, debido al laboreo, fuerzas de impacto y a los procesos erosivos. En la mayoría de los casos esta desintegración llega a ser tan intensa, que las partículas y pequeños fragmentos resultantes obstruyen los espacios libres, provocando una recompactación de la capa y/o la formación de costras en la superficie, hecho que repercute negativamente en la porosidad efectiva, movimiento de aire, captación y filtración del agua, con todos los problemas que esto conlleva (Zebrowski, 1992).

Por recién expuesto, es indispensable llevar a cabo una habilitación constante de las características estructurales del tepetate. Es recomendable generar una estructura formada por agregados estables que permitan la creación de una capa ligera y porosa (Zebrowski, 1992), ya que constituyen la estructura más deseable para el crecimiento vegetal y el establecimiento de una biota edáfica activa, debido a que permiten la existencia de un mayor espacio poroso efectivo, característica que repercute directamente sobre todos aquellos procesos involucrados con el intercambio gaseoso y el movimiento del agua, como pueden ser la acumulación de macromoléculas y/o coloides, la dinámica de los ciclos biogeoquímicos, que favorecen la disponibilidad de los nutrientes y su asimilación por las especies vegetales, factores determinantes en la productividad (Karimian y Razmi, 1990). Además, una estructura constituida por agregados estables disminuye el riesgo de erosión y permite el establecimiento y desarrollo de especies vegetales (Hillel, 1982). La estabilidad de los agregados mejora después de ciertos cultivos, particularmente de gramíneas. Estos cambios han sido asociados con el aumento en los niveles de materia orgánica ocasionados por los residuos de las

plantas. Reid y Goss (1981), sugieren que las raíces vivas de ciertos cultivos ejercen importantes efectos en la estabilidad de los agregados.

Las características físicas y químicas del suelo pueden ser modificadas por los procesos erosivos que a su vez dependen de varios factores, como la materia orgánica, las arcillas, de los elementos cementantes (como la sílice y el hierro) y los microorganismos (Reid y Goss, 1981; Angers *et al.*, 1992). Entre estos factores uno destaca por su importancia, la materia orgánica, suministrada en su mayoría por los restos del material vegetal, microorganismos y por los exudados de las raíces (Wild, 1992). El conocimiento de la transformación de la materia orgánica, así como del pH, la capacidad de intercambio catiónico, las bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) y el porcentaje de saturación de bases del tepetate fragmentado, son temas en los que hay que profundizar, debido a que aún no se conocen del todo. Por lo que su estudio para controlar y mantener los procesos de estructuración y formación de suelo con fines de habilitación y producción agrícola – pecuaria es de suma importancia.

Algunos estudios realizados a nivel de invernadero, con tepetate fragmentado del Estado de Morelos (Velázquez, 1994 y 1997), del Estado de México (Acevedo, 1997) y del Distrito Federal (Herrera, 1999) mostraron que las especies vegetales influyen significativamente en la modificación de la estructura del suelo. El crecimiento de las raíces provoca una fragmentación, necesaria para el manejo de los tepetates y fase inicial de la agregación en éstos. Al mismo tiempo, a través de los fenómenos de empaquetamiento, se favorece la reorganización del material resultante en agregados, que pueden ser más o menos estables, dependiendo del tiempo de permanencia de las especies vegetales sobre el tepetate. A partir de dichos estudios surge la idea de que los tepetates son susceptibles de ser habilitados para uso agro-forestal, si se favorece el proceso de fragmentación, mediante la adición de materia orgánica susceptible de ser descompuesta y transformada, así como por la introducción de especies vegetales con un alto potencial de agregación, capaces de tolerar las condiciones del tepetate. Al existir toda esta serie de cambios físico químicos y estructurales, las propiedades físicas y químicas del tepetate se modifican también, influyendo entonces en un mejor desarrollo y crecimiento de las plantas.



### 1. Propiedades Químicas Principales del Suelo

El conocimiento de las características químicas de los suelos es fundamental para el entendimiento de su génesis y el desarrollo de prácticas de manejo adecuadas. Las propiedades químicas del suelo incluyen la solubilidad mineral, la reacción del suelo (pH), la interacción de la materia orgánica, el intercambio de cationes y la acción buffer. De acuerdo con Tamhane *et al.* (1986) y Etchevers *et al.* (1992), las características químicas más importantes como método aceptado para determinar la fertilidad de los suelos son el potencial hidrógeno (pH), la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico total y el porcentaje de saturación de bases.

Su importancia dentro del estudio de los tepetates además de lo antes mencionado y de las características limitantes de las capas volcánicas endurecidas, resulta ser radical, dado que el conocimiento actual sobre las características químicas de los tepetates es limitado (Etchevers *et al.*, 1992).

Las características químicas seleccionadas en este estudio fueron elegidas con base en que son elementos clave para el monitoreo de la fertilidad del suelo y cumplen con los siguientes puntos como indicadores de calidad (Miller y Donahue, 1995, Wang *et al.*, 1995 y Doran y Zeiss, 2000).

- a) Son consideradas como propiedades sensitivas, las cuales son capaces de cambiar significativamente en menos de 10 años.
- b) Reflejan una dinámica entre ellas, lo que puede modificar la fertilidad del suelo e indicar el potencial del sistema (en este caso tepetates).
- c) Su relación facilita la visualización de procesos y patrones.
- d) Son necesarias para identificar áreas con problemas de producción y erosión, en relación con el manejo agrícola.
- e) Permiten realizar estimaciones realistas sobre la producción y el nivel de nutrientes.
- f) Forman parte de un conocimiento básico universal dentro de la edafología.
- g) Su medición es una de las más accesibles en términos de tiempo, equipo de laboratorio y dinero

### 1.1 Potencial Hidrógeno (pH)

El término define la relativa condición básica o ácida de una sustancia. El pH del suelo mide la actividad de los protones y se expresa en términos logarítmicos. El pH puede aportar información acerca de otras propiedades del suelo y de la solubilidad de los minerales en el mismo (Miller y Donahue, 1995, Wang *et al.*, 1995 y Potash and Phosphate Institute, 1997). Existen factores que afectan el pH del suelo, los más importantes son:

1. El material de origen: la roca madre puede ser ácida o básica
2. Profundidad del suelo: excepto en áreas de baja precipitación, la acidez generalmente aumenta con la profundidad.
3. Precipitación: a medida que el agua de lluvia se infiltra en el suelo, se produce la salida o lixiviación de los nutrientes básicos como el calcio y el magnesio, los cuales son reemplazados por elementos ácidos, como el aluminio, el hidrógeno y el manganeso, y por lo tanto el pH tiende a acidificarse.
4. La descomposición de la materia orgánica: los materiales orgánicos del suelo al descomponerse forman ácidos orgánicos,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , originando ácidos carbónicos por lo que se acidifica el pH.
5. La vegetación natural: tiene una influencia compleja sobre el pH, debido a que produce materia orgánica e influye en los procesos de lixiviación. La adición de materia orgánica degradable, da lugar a la formación de ácidos orgánicos que disminuyen el valor de pH (Troeh y Thompson, 1993). Los suelos que se forman bajo el bosque tienden a ser más ácidos que aquellos que se desarrollan bajo praderas.
6. Siembra continua de cultivo: los suelos a menudo se vuelven más ácidos bajo la influencia de los cultivos, debido a que éstos absorben bases, dependiendo del tipo de cultivo. Por ejemplo las leguminosas contienen niveles más altos de bases que las gramíneas.
7. Fertilización nitrogenada amoniacal: el nitrógeno amoniacal produce acidez, a dosis bajas la acidificación es lenta.
8. Inundación: el efecto global es alcalinidad del pH en suelos ácidos y una acidificación en suelos básicos.

La determinación del potencial de reacción o pH es básica y sumamente importante, pues es de las más sencillas de realizar. Además, con ella se pueden aproximar con un alto grado de precisión otras características, realizar corrección de problemas de acidez o alcalinidad para un mejor desarrollo de las plantas, así como de solubilidad de nutrimentos, que no son capaces de asimilarse en ciertos intervalos de pH; la mayoría son mineralizables en un intervalo de 6.5 a 7.5 (Potash and Phosphate Institute, 1997).

## 1.2 Materia Orgánica

La materia orgánica está constituida por compuestos a base de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y zinc, los cuales se encuentran en una transformación constante; muchas de las propiedades de ésta se deben a su carácter dinámico. La materia orgánica proviene de los restos de plantas y animales, esto incluye hierbas, árboles, bacterias, hongos, protozoos, lombrices y abonos animales. De acuerdo con Tamhane *et al.* (1986), Wild (1992) y Brady & Weil (1999) algunas funciones de la materia orgánica en el suelo son:

1. Reduce el escurrimiento superficial y la erosión, como resultado existe mas agua disponible para el desarrollo de las plantas.
2. La agregación de los residuos orgánicos fácilmente degradables, produce la síntesis de sustancias orgánicas complejas, que ligan las partículas del suelo en unidades estructurales llamadas agregados, lo que favorece la aireación, la permeabilidad y la humedad.
3. Sirve como un depósito de elementos químicos que son esenciales para el desarrollo de las plantas. Así, al descomponerse, proporciona los nutrimentos, hormonas y antibióticos necesarios.
4. Al descomponerse produce ácidos orgánicos y bióxido de carbono, que contribuye a disolver minerales como el potasio, lo cual ayuda a las plantas a obtenerlo más fácilmente.
5. Compensa los cambios químicos rápidos en el pH del suelo, pues tiene la capacidad de actuar como buffer.
6. El humus constituye un almacén para los cationes, potasio, calcio y magnesio intercambiables y disponibles. Impide la lixiviación de los fertilizantes amoniacales, ya que retiene el amonio en forma intercambiable.

7. Sirve como fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo, así como de alimento para lombrices, hormigas y roedores.
8. Reduce los efectos negativos de pesticidas, metales pesados y otros contaminantes.

La determinación de la materia orgánica es importante debido a que es considerada como soporte de vida en el suelo, así como la intermediaria entre el medio viviente y el mineral (Duchafour, 1984). Actualmente, se sabe que la carencia o falta de materia orgánica en el suelo puede causar una baja fertilidad y riesgo a la erosión del mismo (Doran and Zeiss, 2000). En el caso de los tepetates, su importancia radica en que son prácticamente carentes de ella, lo que dificulta en gran medida el establecimiento de especies vegetales y microorganismos, lo que retarda su habilitación. Además, si se incorpora materia orgánica en los tepetates, se favorece la formación de agregados y en consecuencia de la estructura, lo que ayuda a la formación de suelo (Etchevers *et al.*, 1992).

### 1.3 Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CICT).

Se define como la suma de bases intercambiables presentes en el suelo, se expresa en centimoles de carga por kilogramo (cmol+kg-) (SSSA, 2001). Como base intercambiable se entiende a cualquier ion con carga positiva atrapado dentro o sobre una superficie negativa, el cual puede ser reemplazado por otros iones con carga positiva que se encuentre en la solución del suelo. El intercambio tiene lugar casi por completo en las superficies de cristales de la arcilla y de las partículas de humus, debido a que éstas tienen una carga neta negativa y por consiguiente, atraen a los iones con carga positiva presentes (Duchafour, 1984 y Miller y Donahue, 1995). Se realiza en la superficie de las arcillas, el humus y en la superficie de las paredes celulares de las raíces de las plantas. La capacidad de intercambio catiónico influye en lo siguiente:

1. Los cationes más numerosos en los espacios intercambiables de los suelos son: calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), hidrógeno ( $\text{H}^+$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ). La proporción de estos cationes permanece en un constante cambio, con la de otros iones que se están adicionando de los minerales disueltos, de los abonos y de los fertilizantes.
2. En la fertilidad del suelo, ya que es capaz de alterar la acidez o basicidad, así como las propiedades físicas del suelo pues puede ayudar a retener el paso del agua.

3. Los sitios de intercambio catiónico retienen  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Na}^{+}$  y retardan sus pérdidas por lixiviación. Además, pueden ayudar a retener el  $\text{K}^{+}$  y el  $\text{NH}_4^{+}$  de los fertilizantes y reducen su movilidad dentro del suelo.

Debido a lo anterior, la CICT en términos de fertilidad del suelo es fundamental, se sabe que a mayor contenido de arcilla y porcentaje de materia orgánica, habrá una mayor CICT, pues la materia orgánica al mineralizarse libera iones intercambiables. La adsorción e intercambio de los nutrimentos, depende en gran medida de la capacidad de retención y liberación, de los cationes para su asimilación por las plantas.

#### 1.4 Porcentaje de Saturación de Bases

Se define como la relación de la cantidad de bases intercambiables presentes, dependiendo de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (SSSA, 2001). Los cationes que son comúnmente adsorbidos por los sitios de intercambio en los coloides del suelo, se pueden dividir en dos grandes grupos, los cationes ácidos (aluminio e hidrógeno) y los cationes básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Na}^{+}$  entre otros). La proporción de estos cationes básicos en porcentaje, con respecto al total de cationes del complejo de intercambio, se denomina porcentaje de saturación de bases. Ayuda a saber qué porcentaje de hidrogeniones está presente en el suelo, para poder neutralizar problemas de acidez (Miller y Donahue, 1995). La fórmula para su determinación es:

$$\%S.B. = \frac{\sum (\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{K}) \times 100}{\text{CICT a pH de 7 ó 8.2}}$$

Así, el porcentaje de saturación de bases es tanto una medida de carga de los suelos que depende del pH, como del porcentaje real de sitios de intercambio catiónico ocupados por las bases intercambiables. Es un término sumamente importante para entender y explicar la formación de suelos, clasificarlos y hacer recomendaciones empíricas, para su manejo. Además, al resumir el contenido de bases y la capacidad de intercambio, se conoce la disponibilidad de nutrimentos para el desarrollo de las plantas (Tamhane *et al.*, 1986). Es por esto que, en el estudio y habilitación de los tepetates, en los que se requiere la formación de suelo, este aspecto adquiere importancia.

## 2. TEPETATES

### 2.1 Características Generales

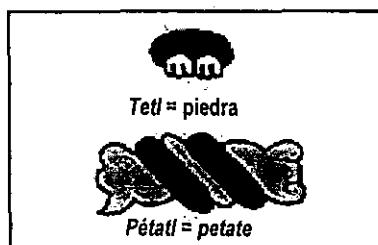
Resulta fundamental entender la dinámica que existe dentro y fuera de los ecosistemas, para poder intervenir en ellos, de forma razonable y efectiva (Hernández *et al.*, 1993). Para esto no sólo hay que describir a los tepetates, sino además, es necesario descubrir las relaciones entre los elementos del ecosistema junto con el entorno, para poder actuar con ellos y emprender así la habilitación o restauración deseada. Hernández *et al.*, (1993), proponen los parámetros estimados para el estudio de los componentes de los ecosistemas (Tabla 1).

**Tabla 1. Parámetros estimados para el estudio de los componentes de los ecosistemas.**

COMPONENTES	PARÁMETROS
Físicos	Partículas del suelo, densidad, estructura, humedad.
Químicos	N, P, K, Ca, Mg, S, materia orgánica, pH.
Biológicos	Cobertura vegetal, macro y microbiota.
Productividad	Pasturas, cereales, frutales, ganadería.
Humanos	Granjeros, campesinos y empresarios.

Debido a su dureza, impermeabilidad, bajo contenido de materia orgánica y a los procesos de compactación y cementación a los que están sujetos, los tepetates, al aflorar no permiten un buen establecimiento del suelo. Lo que acarrea problemas a todo el entorno, tanto a los componentes físicos, químicos, biológicos, de productividad y hasta los humanos; por lo que es imperativo llevar un manejo adecuado, sin perder de vista ninguno de ellos.

La palabra tepetate proviene del vocablo náhuatl *tepétatl*, compuesto por las raíces *teŋl* que significa piedra y *pétatl*, petate (Fig. 1), por lo tanto, su significado etimológico es petate de piedra (Flores *et al.*, 1991).



**Fig. 1** Glifos náhuatl del vocablo Tepetate  
Fuente: Instituto de Cultura de Morelos, 2000

El término tepetate corresponde a las capas endurecidas que se encuentran en el perfil del suelo y que pueden o no aflorar. Generalmente los tepetates se encuentran en regiones con una temporada seca bien definida. El endurecimiento de las capas volcánicas puede ser de origen geológico (endurecimiento en el momento del depósito) o pedológico (con aporte de cementantes) (Zebrowski, 1992). Los tepetates en su estado natural poseen una estructura masiva (Peña y Zebrowski, 1992) y baja porosidad, dada por su dureza, resistencia al movimiento del agua, baja fertilidad, así como por una considerable resistencia a la penetración de raíces, lo cual constituye restricciones de tipo físico para el crecimiento de las plantas. Esto se traduce en restricciones de carácter nutricional (Etchevers *et al.*, 1997), lo que conlleva a que sean considerados un problema para el uso agrícola y pecuario del suelo.

## 2.2 Formación

La formación de los tepetates, de acuerdo con Flores *et al.* (1997) depende principalmente de dos factores: la compactación y la cementación. Los cementantes pueden ser la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), que se deriva de materiales de origen volcánico. Esta formación nunca ocurre en condiciones de bosque natural y se encuentra restringida a pendientes que son fáciles de erosionar; tiene cuatro fases, que se representan en la Figura 2. Flores *et al.* (1991), hacen notar que la génesis de los tepetates puede ser a través de procesos geoquímicos y pedológicos, o bien, una combinación de ambos.

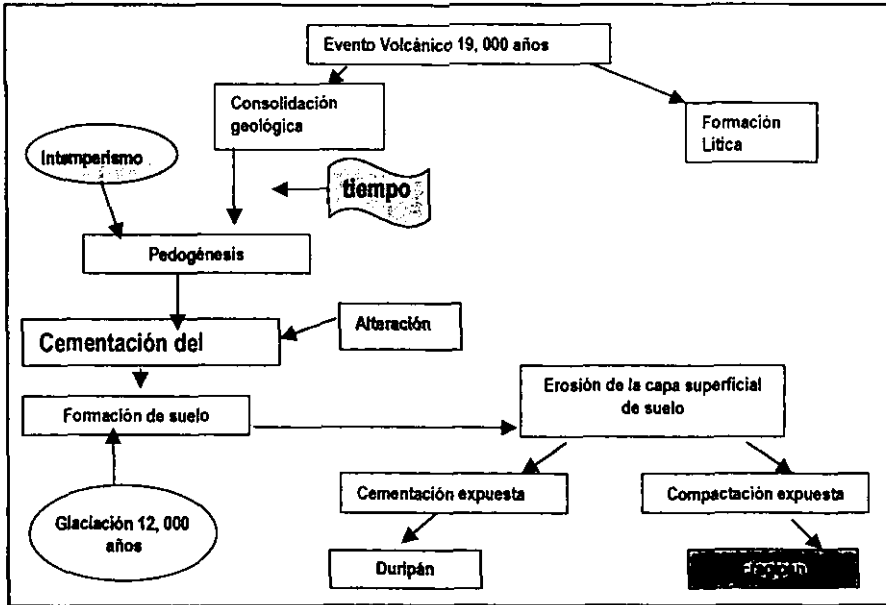


Figura 2. Modelo de formación de los tepetates

Fuente: Miehlich (1992) y Flores *et al.* (1997).

### 2.3 Clasificación

Dependiendo del tipo de cementante involucrado se dividen en:

- A. PETROCÁLCICOS.- compuestos por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Se forman por precipitación y acumulación de carbonatos, cuyas fuentes son: rocas carbonatadas en materiales parentales, materiales piroclásticos calcáreos y carbonatos autigénicos, generalmente son de color blanco (Flores *et al.*, 1991).
- B. DURIPÁN.- compuestos por sílice ( $\text{SiO}_2$ ), poseen una gran estabilidad y se encuentran en climas húmedos, subhúmedos y semiáridos, en donde existe un período seco bien definido (Guerrero *et al.*, 1992). Poseen estructura masiva, laminar o prismática gruesa y son de color amarillo, gris y rojizo (Flores *et al.*, 1991).
- C. FRAGIPÁN.- es un horizonte compactado y ligeramente cementado, de textura típica de migajón, con un alto contenido de limo y arena fina. Cuando está seco es de duro a muy duro y en húmedo es frágil (Flores *et al.*, 1992).



- D. PETROGYPSICOS.- compuestos de sulfato de calcio( $\text{CaSO}_4$ ). Se presentan en climas con gran evaporación, o sea climas áridos (Guerrero *et al.*, 1992). La cementación se lleva a cabo por cristalización del sulfato de calcio cuando llega a un nivel de hidratación óptimo, son, en general, de color blanco (Flores *et al.*, 1991).
- E. PLINTITAS.- involucran diferentes clases de cementación, con óxidos de hierro y aluminio. Se forman bajo la influencia de una lámina de agua fluctuante, que crea condiciones alternas de oxidación - reducción. Su color puede ser desde amarillo claro hasta rojo intenso (Flores *et al.*, 1991).

Existen diferentes denominaciones de los tepetates, dependiendo de la zona en donde se encuentren, las costumbres y cultura, el idioma o dialecto, los usos que se le den y sus características físicas. Algunos de estos nombres, se remontan a tiempos muy antiguos. En la Tabla 2, se presentan los nombres más comunes.

Tabla 2. Denominación del Tepetate

Lugar	Nombre	Origen	Fuente
Eje Neovolcánico Mexicano	Tepetate	Náhuatl	Flores <i>et al.</i> , 1991
Región Otomí	Xido	Otomí	Nimlos, 1987
Región Tarasca	Sheri	Tarasco	Nimlos, 1987
Centroamérica (Nicaragua, Salvador y Honduras)	Talpetate	Náhuatl	Zebrowski, 1992
Colombia y Perú	Hardpan	Desconocido	Zebrowski, 1992
Ecuador y Colombia	Qanqachua o Qanqachua	Quechua	Zebrowski, 1992
Antillas	Pan	Desconocido	Nimlos, 1987
Japón	Kora y Masa	Desconocido	Nimlos, 1987
Al Sur del Continente Americano, en Chile	Cancagua, Moromoro, Fierrillo, Tasca y Nadis	Desconocido	Zebrowski, 1992
Denominación Técnica	Duripán y Fragipán	Soil Taxonomy	Soil Taxonomy, 1988

## 2.4 Distribución en México

Dentro del 30 % del territorio Mexicano según Flores *et al.* (1991), se presenta algún tipo de tepetate (Figura 3). Por orden de dominancia:

- ❖ PETROCÁLCICOS.- Generalmente se localizan en Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango, en zonas con climas áridos y semiáridos (Guerrero *et al.*, 1992).
- ❖ DURIPÁN.- Se presentan en ambientes templados y húmedos y áreas de influencia volcánica, en el Eje Neovolcánico, Aguascalientes y San Luis Potosí (Flores *et al.*, 1991 y Guerrero *et al.*, 1992).
- ❖ FRAGIPÁN.- Se encuentran en zonas de precipitación mayor que la evaporación en climas cálidos a fríos, en el Eje Neovolcánico (Flores *et al.*, 1991).
- ❖ PETROGYPSICOS.- Se encuentran en los estados que están en el centro y Norte del país (Guerrero *et al.*, 1992).
- ❖ PLINTITAS.- Se localizan en áreas cálido - húmedas o que alguna vez lo fueron, son escasos en México, existen zonas en los estados de Tabasco, Sur de Veracruz y Norte de Oaxaca (Flores *et al.*, 1991).

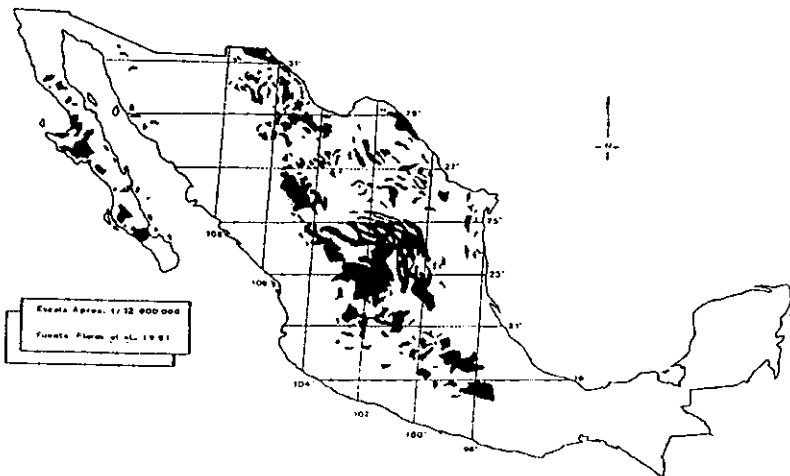


Figura 3. Zonas con tepetate en México

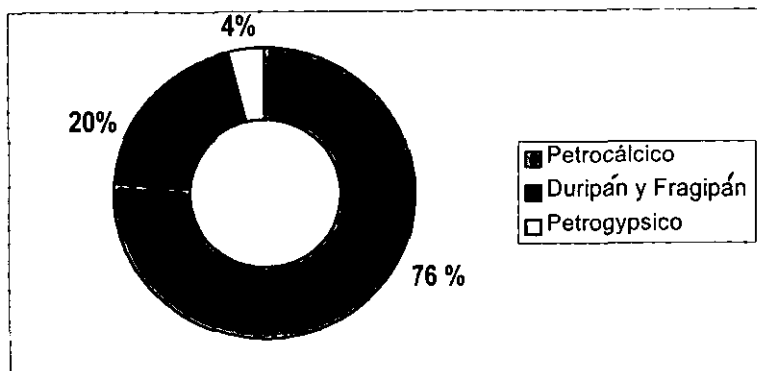
En las Tablas 3 y 4, así como en la Figura 4, se presentan los porcentajes de la superficie (km<sup>2</sup>), por tipo de tepetate, que se presentan en el país.

**Tabla 3. Superficie y Porcentaje de la cobertura de las capas endurecidas en México.**  
Modificado de: Guerrero *et al.* (1992).

SUELO	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
Otros suelos	1,774,516	91
Capas endurecidas	183,685	9
<b>Total</b>	<b>1,959,201</b>	<b>100</b>

**Tabla 4. Superficie y cobertura por tipo de capa endurecida en México.**  
Modificado de Guerrero *et al.* (1992).

Capas Endurecidas	SUPERFICIE (Km <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
Petrocálcico	139,518	76
Duripán y Fragipán	37,247	20
Petrogypico	6,920	4
<b>Suma</b>	<b>183,685</b>	<b>100</b>



**Figura 4. Superficie y tipo de tepetate dentro del territorio Nacional.**

## 2.5 Habilitación

Dentro de este trabajo se entiende por habilitación a la propiedad de capacitar un recurso (tepetate), para un uso o producción. Dadas las características del tepetate, su amplia extensión dentro de la República Mexicana y su afloramiento cada vez más frecuente, la habilitación de estos materiales se convierte en una necesidad que debe ser considerada, para una pronta solución e incorporación del tepetate al proceso productivo.

Para Ortiz y Anaya (1992), recuperar las áreas con tepetate requiere cumplir con los siguientes requisitos:

- Tener suficiente espacio poroso para el desarrollo de las raíces
- Contar con un buen abastecimiento de agua.
- Brindar los nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas.

Para lograr esto, se requiere de técnicas como la roturación, terraceo y aplicación de materia orgánica, ya que además de mejorar los suelos acelera su restablecimiento. Además es necesario establecer especies vegetales que favorezcan física, química y biológicamente al tepetate, mediante la acción de las raíces, mejorando la estructura y la formación de agregados, así como los compuestos radicales que liberan, junto con la cobertura vegetal, aportan materia orgánica y otros nutrimentos al suelo (Pimentel, 1992).

### 3. ABONOS ORGÁNICOS

Desde siglos anteriores a la Era Cristiana, se describieron las propiedades de las excretas de caballos, vacas, cabras, ovejas, gallinas y hasta del hombre, para ser utilizados en diferentes suelos y cosechas. Desde entonces, los estiércoles han sido ampliamente usados, principalmente por la necesidad de deshacerse de los mismos, aunque considerándolos cada vez más útiles por sus ventajas a corto y largo plazo en la agricultura. Los abonos se utilizan para suplementar los nutrientes que el suelo no es capaz de aportar a las plantas, debido a que el suelo carece de ellos en su estado natural o no los tiene en forma asimilable. El resultado de su empleo suele ser un aumento en el rendimiento de las cosechas, también tienen el objetivo de mejorar la calidad de las mismas (Simpson, 1986).

#### 3.1 Definición

El término abono se usa para designar materiales orgánicos de gran volumen, principalmente residuos vegetales, abonos verdes y excretas animales, que se incorporan de nuevo al suelo, bien directamente o después de algún tipo de procesado. Suelen contener una gran cantidad de agua, en consecuencia, para aportar una parte apreciable de los nutrientes que necesitan las plantas, hacen falta grandes cantidades de los mismos (Fuentes, 1994).

#### 3.2 Tipos

De acuerdo con Trinidad (1999), los tipos de abonos se dividen en:

- 1) Abonos tradicionales o de granja.- son productos sólidos voluminosos, en los que se han empleado paja u otras materias orgánicas, con el fin de absorber las excretas líquidas de los animales.
- 2) Abonos líquidos.- conocidos como purines, mezclas de deyecciones sólidas y líquidas junto con agua de limpieza. Son considerados como los abonos con menos pérdidas de nitrógeno disponible para los cultivos (Fuentes, 1994)
- 3) Materiales orgánicos procesados.- producidos fuera de la explotación, se incluyen los lodos residuales, basuras de las ciudades y algas marinas.

- 4) Residuos de cultivos incorporados directamente al suelo.- como paja, rastrojo y raíces de los cereales y forrajes, hojas de los nabos y otras partes no aprovechables de las plantas.
- 5) Cultivos de abonos verdes.- sembrados especialmente para ser enterrados con el arado.

En cuanto al contenido y la viabilidad de los nutrientes básicos para el crecimiento y desarrollo de las plantas como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), la Tabla 5. muestra los abonos más comunes, junto con la relación de sus nutrientes.

**Tabla 5. Contenido y Viabilidad de Nutrientes**

Estiércol	Nitrógeno (N)		Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		Potasio (K <sub>2</sub> O)	
	Contenido (%)	Aprovechable (%)	Contenido (%)	Aprovechable (%)	Contenido (%)	Aprovechable (%)
Gallinaza	1.90	1.30	1.80	0.90	1.20	0.90
Bovino	0.53	0.40	0.20	0.10	0.53	0.40
Cerdo	0.53	0.40	0.53	0.30	0.36	0.30

Fuente: Weller y Willetts, 1977.

### 3.3 Papel dentro del suelo

#### Abonos sobre las características químicas:

Por las características propias de su composición los abonos son formadores del humus, enriquecen y modifican algunas de las propiedades y características del suelo, como el pH, el cual se ha visto que tiende a incrementarse; la CICT, ganando cargas negativas favoreciendo el aumento en la adsorción de cationes; la quelatación de elementos; disponibilidad del fósforo, calcio, magnesio y potasio, haciéndolos más propios para el buen desarrollo y rendimiento de las cosechas. Además, aumentan el contenido de materia orgánica (Trinidad, 1999).

La única forma de mantener o mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo y, por consiguiente, incrementar el carbono orgánico fijado, es mediante el uso de abonos orgánicos, que mantienen al suelo fértil, con alta capacidad productiva y una alta rentabilidad de los recursos invertidos a través del espacio y tiempo en un sistema de producción agrícola. Durante la

mineralización de los estiércoles se liberan en forma secuencial y lenta, la mayoría de los nutrimentos que los cultivos requieren para su desarrollo (Trinidad, 1999).

Abonos sobre las características físicas:

Influyen favorablemente en la estructura, porosidad, aireación, retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados. Al aumentar la porosidad y aireación, se disminuye la densidad aparente del suelo, lo cual es un parámetro indicador de la compactación (Trinidad, 1999).

### 3.4 Importancia

- 1) Aportan materia orgánica al suelo.
- 2) Aportan nutrimentos.
- 3) Su liberación lenta y progresiva es una garantía de que elementos móviles, como el nitrógeno, permanezcan retenidos en el suelo, de modo que no sean lavados fácilmente (Domínguez, 1997).



#### 4. FERTILIZANTES QUÍMICOS INORGÁNICOS

El desarrollo de la industria de los fertilizantes ha hecho posible no sólo la restitución de las pérdidas anuales de los elementos nutritivos, sino la recuperación de los niveles de fertilidad perdidos, e incluso, llegar a mejorar notablemente la fertilidad natural de los suelos (Dominguez, 1997).

##### 4.1 Definición

En términos amplios, se puede considerar como materia fertilizante a cualquier sustancia que contenga productos minerales inorgánicos con alguno de los tres macroelementos primarios: *nitrógeno, fósforo y potasio*, al igual que los que contienen una mezcla de macro y microelementos (Dominguez, 1997). El término se emplea para sustancias que contienen una importante cantidad de uno o más nutrimentos esenciales para las plantas. Son de naturaleza inorgánica, obtenidos mediante procesos químicos desarrollados a escala industrial (Dominguez, 1997). Las materias primas que se emplean para su fabricación son el nitrógeno atmosférico, los fosfatos minerales, magnesio, sodio, potasio, azufre y oligoelementos. Suelen ser mucho más caros que los abonos orgánicos (Simpson, 1986).

##### 4.2 Tipos

Con base en Simpson (1986), los fertilizantes se pueden clasificar en:

- Fertilizantes simples o directos.- sólo aportan un elemento, como la urea, sulfato de amonio, superfosfato, cloruro de potasio, etc.
- Fertilizantes compuestos o mixtos.- son los que son capaces de aportar dos o más elementos, por lo general nitrógeno, fósforo y potasio.
- Fertilizantes sólidos.- incluyen tanto simples como compuestos y se dividen en:
  - Completamente sólidos: mezclas de sustancias granuladas.
  - Sólidos mixtos: gránulos de fertilizantes simples que contienen NPK, mezclándose de forma preestablecida
- Fertilizantes líquidos o fluidos.- son soluciones acuosas de las mismas sustancias que se utilizan para los sólidos hidrosolubles, se aplican rociándolos en el suelo o por goteo a cultivos establecidos. Tienen ventajas sobre los sólidos, pues tienen una distribución más

uniforme, una absorción inmediata en el suelo (incluso en sequía), la posibilidad de añadir ciertos pesticidas y fungicidas y una menor necesidad de mano de obra.

- Fertilizantes Gaseosos.- En la actualidad se emplea el amoníaco anhidro con un (81%) de nitrógeno, se inyecta en el suelo húmedo.

#### **4.3 Papel dentro del Suelo**

La reacción de las distintas formas químicas de los elementos nutritivos en el suelo tienen un efecto diferente sobre el pH, según el fertilizante, por lo regular la acción es acidificante ya que la mayoría de los fertilizantes comerciales contienen sulfato de amonio, el cual se disocia y con el agua forma ácido sulfúrico (Dominguez, 1997).

#### **4.4 Importancia**

Se emplean para complementar los nutrimentos que la planta necesita, con el fin de incrementar el rendimiento de los cultivos, sin que los fertilizantes sean perjudiciales, siempre y cuando se apliquen en cantidades adecuadas a cada tipo de cultivo y de suelo. Esta aportación es necesaria en casi todos los sistemas de explotación agrícola, especialmente en los sistemas intensivos pues se puede incrementar la producción de la cosecha, sin aminorar la calidad de la misma (Simpson, 1991).

## 5. ESPECIES VEGETALES

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

Se cree que la higuera (Fig. 5), tiene origen Asiático y que después se esparció por el Mediterráneo. Ha sido cultivada por más de 5000 años. Tiene el aspecto de ser un árbol o arbusto tropical, caducifolio o perennifolio de 5 a 10 m de altura con un diámetro de altura de pecho de hasta 18 cm. Tiene flores de 5 pétalos de color rosado blanquecino y un solo carpelo. Su fruto tiene sabor dulce, es blando, ovoide, camoso, de piel fina, color verde azulado o negro morado con pequeños y numerosos achenios y mide de 3-10 cm de largo. Sus semillas son pequeñas y numerosas. Su raíz es abundante y fibrosa y de desarrollo superficial muy extendido. Su follaje por lo regular rebasa poca altura del suelo, con 12 a 30 ramas. La corteza es suave y de color gris plateado, sus hojas son deciduas, lobulares con 3 a 7 lóbulos, con un tamaño que va de 10 a 25 cm de largo (Vázquez *et al.*, 2000).



Fig. 5 *Ficus carica* L. (Caroll *et al.*, 1997).

### Requerimientos de Cultivo

- Intensidad de luz: de media a completa
- Humedad: promedio, con buen drenaje, es tolerante a la sequía una vez establecida.
- Propagación: por cortes de tallos latentes y vástagos de raíz.
- Altitud: 1000 – 2000 msnm
- Temperatura media anual: 17 – 19°C
- Precipitación total anual: 900 – 1200 mm

(Caroll *et al.*, 1997)

### Producción y Usos

Por lo regular las plantas se consideran productivas a los 2 años. Una vez establecidas, son consideradas especies resistentes y tolerantes a muchas condiciones ambientales; pueden crecer en una gran variedad de suelos, incluyendo arcillas pesadas, arenas ligeras e incluso tepetates (Herrera, 1999). La higuera tiene requerimientos hídricos y edáficos menores que los de la mayoría de las especies rosáceas comerciales y debido a ello, es posible establecer su cultivo en áreas marginales (Carballo, 1980). En general no presentan plagas ni enfermedades. En estado de latencia total las higueras pueden tolerar temperaturas bajas de 4 a 6 °C. El árbol de higuera es considerado especialmente atractivo como ornamental y para el paisaje con su forma expansiva, sus hojas suaves y sus ramas torcidas que llaman la atención en cualquier estación del año (Carroll *et al.*, 1997).

### Importancia

Hoy en día el cultivo de la higuera es considerado importante, con una producción mundial anual aproximada de un millón de toneladas de fruto. El fruto es utilizado tanto para el consumo humano, como forraje para animales. Tienen un valor nutricional alto debido a su gran contenido de calcio. Su importancia económica tiene futuro tanto para grandes como pequeños productores dentro del mercado mundial, ya que existe una demanda por higos frescos que día con día se incrementa. La producción de higuera en algunos países de Europa ha ido decreciendo, mientras que en Turquía y México se ha estado expandiendo (Tous y Ferguson, 1996). Es considerada como especie ecológicamente importante, por su gran utilidad dentro de programas de reforestación productiva, debido a que es capaz de recrear entornos ya muy deteriorados y de mejorar la calidad del suelo; se ha empleado para rehabilitar sitios donde hubo explotación minera. En México se cultiva en los estados de Baja California Norte y Sur, Distrito Federal, Hidalgo, Michoacán, Morelos y San Luis Potosí (Vázquez *et al.*, 2000).

### **Experiencia en Tepetates**

Herrera (1999), reporta resultados benéficos en el establecimiento de higueras en tepetate fragmentado, con base en un buen proceso de agregación. Además, al ser una especie resistente, puede sobrevivir bajo las condiciones que presenta el tepetate y no requiere de cuidados especiales.

### 5.2 Pasto Rhodes (*Chloris gayana*, Kunth.)

Este pasto (Figura 6), fue introducido a Sudáfrica por Cecil Rhodes, de quien viene su nombre, en 1885. Su cultivo es popular en todos los continentes, debido a su buena producción de semilla, su fácil establecimiento y su hábito de crecimiento. Su vida productiva es aproximadamente de 3 a 5 años. Posee estolones, con tallos erectos, hojas glabras de 15-50 cm de largo y de 3-5 mm de ancho, espiguillas de 3 a 4 flores. Su tallo es muy fino y mide de 0.5 a 2 m de altura (Duke, 1983). Tolerancia condiciones edáficas muy variadas desarrollándose particularmente bien en suelos ligeros, tales como los de ceniza volcánica. Es poco exigente respecto a la cantidad de aire y poros en el suelo, es recomendable un clima de cálido a templado. Los pastos en general responden bien a la fertilización nitrogenada, la cual favorece su rápido crecimiento (Bogdan, 1977).



Fig. 6 Pasto Rhodes, *Chloris gayana*, Kunth.  
(Duke, 1983).

#### Requerimientos de Cultivo

- Intensidad de luz: de 10 a 14 hrs.
- Humedad: es resistente a la sequía.
- Propagación: por medio de semillas y estolones.
- Altitud: 660 – 2160 msnm
- Temperatura: óptima de 35°C, pero tolera de 0-50°C.
- Precipitación total anual: 600 – 1000 mm.

(Duke, 1983).

Además es usado como follaje de cobertura amplia del terreno y sirve como buen alimento para el ganado (Duke, 1983).

### **Importancia**

Los forrajes no sólo se cultivan como fuente de alimentos para ganado, sino también para mantener y optimizar la fertilidad y estructura del suelo, de diferentes formas: 1) por el aumento de materia orgánica de los residuos de las partes aéreas y raíces que quedan en el suelo y 2) por la incorporación al suelo de elementos minerales importantes. La raíz de los pastos, además, conforma una red muy extensa que ayuda a dar una estructura porosa al suelo, lo que permite una buena aireación e infiltración de agua. Pueden actuar como barrera de contención a la erosión eólica (Manuales para la producción agropecuaria, 1982).

### **Experiencia en Tepetates**

Con base en Velázquez, (1994), se ha observado que al establecer pastos, específicamente Rhodes, sobre tepetate fragmentado, se favorece la formación de agregados estables, debido a los efectos físico-químicos del sistema radical en el sustrato y al aporte significativo de materia orgánica que se da durante su desarrollo. Según Bathke *et al.*, (1992), los pastos logran mejoras al establecerse en capas endurecidas. Además, el pasto es considerado como una especie vegetal rústica, resistente y agresiva, por la fuerte penetración de sus raíces.

### III. OBJETIVOS

#### 1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento de la habilitación de un tepetate al proceso productivo, mediante el empleo de especies vegetales, abono y fertilizante.

#### 2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar el efecto del pasto Rhodes (*Chloris gayana*, Kunth), higuera (*Ficus carica*, L.), estiércol de bovino y fertilizante inorgánico en el contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico total y bases intercambiables, de un tepetate fragmentado, en condiciones de campo, durante un periodo de dos años.

### IV. HIPÓTESIS

Las plantas, junto con la materia orgánica, pueden modificar las características químicas del suelo. Con el establecimiento de pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth.) e higuera (*Ficus carica* L.), en tepetate fragmentado, más la aplicación de estiércol de bovino y fertilizante químico inorgánico, se incrementará la fertilidad del tepetate, lo que tiende a su habilitación.



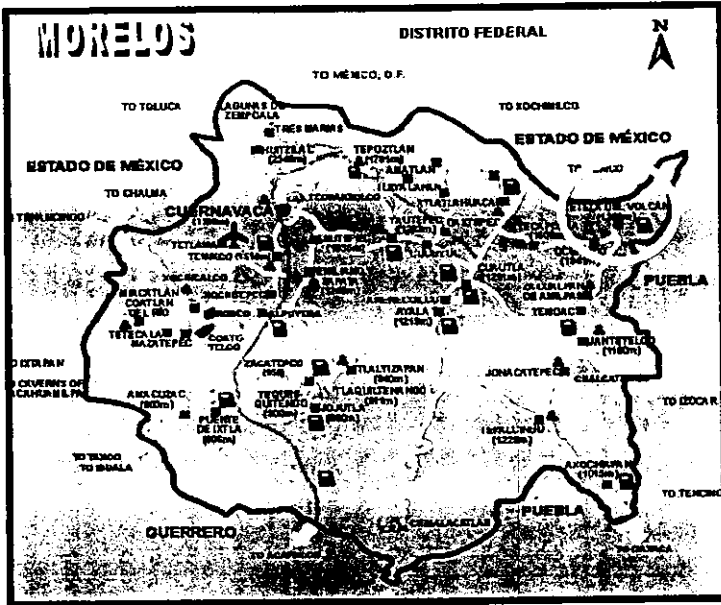
## V. ZONA DE ESTUDIO

### 1. Municipio de Tetela del Volcán

Flores *et al.* (1992 y 1997) indican la presencia de tepetates en el estado de Morelos, en una franja altitudinal, que va de los 1500 a los 2000 msnm, ocupando una superficie de hasta 65,000 ha. En esta franja quedan comprendidos once de los treinta y dos municipios del estado: Zacualpan de Amilpas, Tetela del Volcán, Ocuituco, Yecapixtla, Atlatlahuacan, Tlayacapan, Totolapan, Tlalnepantla, Tepoztlán, Huitzilac y Cuernavaca, lo que lo convierte en uno de los estados con mayor área con tepetates y por lo tanto, con un mayor riesgo de que la problemática asociada a los tepetates se incremente (Figura 7).

El municipio de Tetela del Volcán (Apéndice Figura 1) tiene una superficie territorial de 98.518 km<sup>2</sup> cifra que representa el 1.99 % del total del Estado, su nombre proviene de "Tetella del Volcán", que significa: donde hay muchas piedras, pedregal. Antiguamente Tetela se escribía Tetella o Tetetla, cuyas raíces etimológicas vienen de tete plural de *te-tl*, "piedra", y *tla-n* "lugar". Cuenta con una población de 15,673 habitantes, limita al norte con el Estado de México; al sur con Zacualpan; al este con el estado de Puebla; y al oeste con Ocuituco (Instituto de Cultura de Morelos, 2000).

La zona de estudio se localiza en el Municipio de Tetela del Volcán, estado de Morelos (Figura 7), Se encuentra ubicada a 8 km aproximadamente del centro de Tetela del Volcán, dentro de la ruta de la carretera Tetela – Zacualpan, en el terreno llamado Rodríguez, al Sureste de Tetela. La parcela en la cual se llevó a cabo la investigación, cuenta con una superficie de 900 m<sup>2</sup> y una topografía irregular con pendientes variables que van del 2 al 3 %.



**Fig. 7 Mapa del Estado de Morelos.**  
Fuente: Instituto de Cultura de Morelos, 2000.

## 2. Geomorfología

A la subprovincia de Tetela del Volcán, la constituye la gran Sierra Volcánica del Ajusco (Axochio), que va del límite Sur de la Sierra de las Cruces, hasta extenderse al Oriente, a las proximidades del Popocatepetl, el volcán Chichinautzin y la Sierra de Laderas Escarpadas del Tepozteco (González, 1996).

## 3. Geología

Está representada por el grupo Chichinautzin, correspondiente al periodo del Cuaternario; está compuesta por derrames de lava basáltica, con material piroclástico, toba, rocas ígneas extrusivas, brecha volcánica y algo de aluvi6n (Flores *et al.*, 1991; INEGI, 2000).

#### 4. Hidrografía

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 (Instituto de Cultura de Morelos, 2000).

#### 5. Suelos

En general, dentro del estado de Morelos, corresponden a suelos formados en climas semicálidos y templados y templado húmedos, tienen un origen residual o aluvial. Los más abundantes son los Andosoles, Regosoles, Cambisoles, Acrisoles, Luvisoles y Feozems. En el municipio de Tetela del Volcán los suelos predominantes corresponden a climas semicálidos y templados húmedos, presentan un origen predominante residual y volcánico, lo que constituye a los Luvisoles (González, 1996).

#### 6. Uso del suelo

El municipio cuenta con una superficie aproximada 98.61 km<sup>2</sup>, 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 (Instituto de Cultura de Morelos, 2000). El principal uso que se le da al suelo es agrícola. El 85% está asociado a la agricultura de tracción animal y el 15% a la agricultura mecanizada. La agricultura se clasifica por: a) huertas de aguacatero, tanto a nivel de parcela familiar, como comercial, b) huertos de frutales mixtos como higo, durazno, pera, chabacano, ciruela, zarzamora, manzana, capulín y tejocote, c) agricultura de temporal como frijol, maíz y jitomate, d) floricultura intensiva y e) pastizal inducido (Velázquez, 1998).

De todos los municipios del Estado de Morelos, Tetela del Volcán fue el 10º, al aportar el 4.1% del valor de la producción agropecuaria de Morelos; el 6º al aportar el 5.6% del valor de la producción agrícola del estado y el 26º lugar en aportar el 0.9% del valor de la producción pecuaria estatal (Guerrero, 1993).

## 7. Clima

La caracterización climática se realizó por medio del sistema de clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1988). Tetela del Volcán presenta un clima **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%.

### Precipitación

La media anual oscila entre los 1200 – 1800 mm. La mayor incidencia pluvial se presenta en Julio con un intervalo de 330 – 380 mm y la menor, se registra en febrero y diciembre con valores por abajo de 10 mm (Marañón, 1994).

### Temperatura

La media anual se encuentra entre los 14 y 20 °C, siendo Diciembre el mes más frío, con temperaturas que varían de 10 –15 °C (Marañón, 1994).

En la Figura 8 y Tabla 6, se muestra la precipitación y temperatura durante el periodo experimental, tomados de la estación meteorológica de Tetela del Volcán, estado de Morelos, proporcionados por la CNA (2001) \*.

\* Comunicación personal: Ing. Aurelio Díaz, Comisión Nacional del Agua, Estatal de Morelos, Febrero del 2001.

Tabla 6. Temperatura y Precipitación media mensuales de la estación meteorológica de Tetela del Volcán, Edo. de Morelos. Fuente: CNA (2001)\*.

Coordenadas:

- Latitud 18°53'00"
- Longitud 98°42'30"
- Altitud 2100 msnm

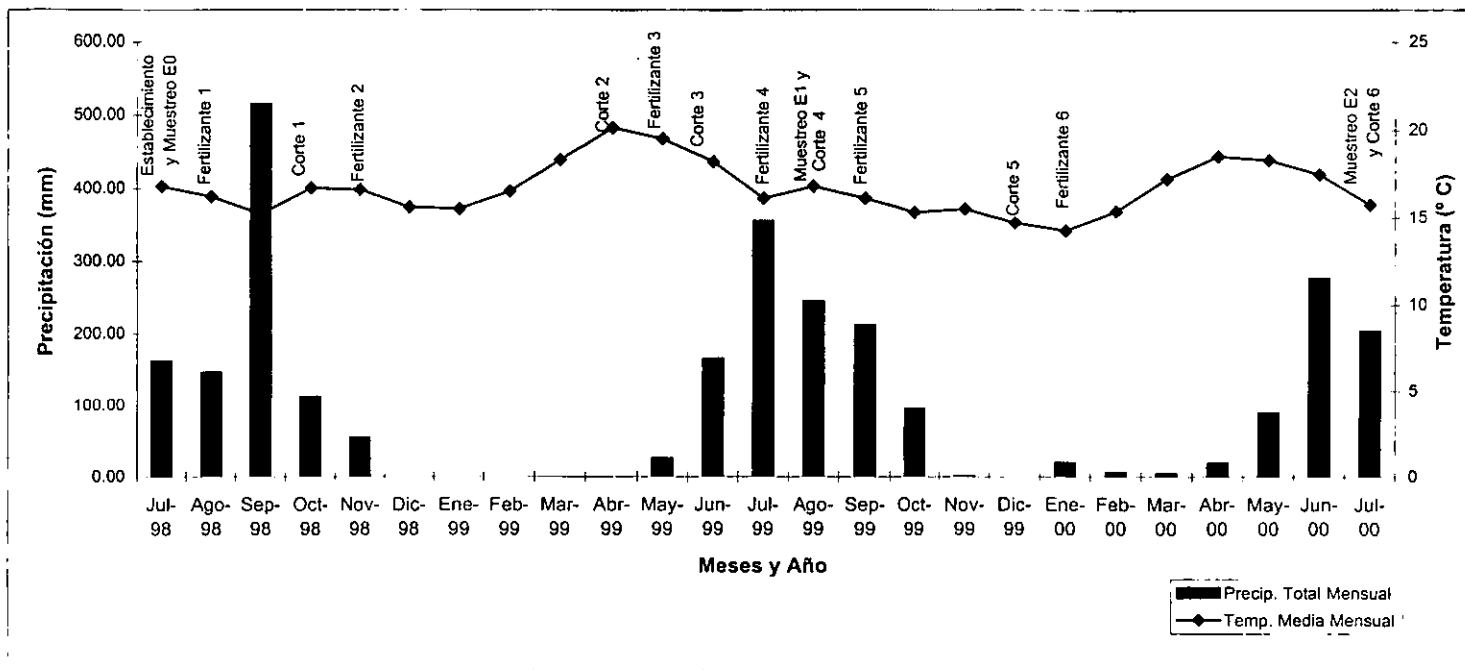
Controlada por: Subgerencia Regional Técnica

Período: 20 años (1980 – 2000)

MES	TEMPERATURA MEDIA (°C)	PRECIPITACION PLUVIAL (mm)
Enero	14.2	14.7
Febrero	15.1	7.9
Marzo	16.8	5.9
Abril	18.7	23.2
Mayo	18.6	91.7
Junio	17.3	265.9
Julio	15.8	210.1
Agosto	15.8	195.2
Septiembre	15.5	208.5
Octubre	15.3	83.2
Noviembre	15.1	23.3
Diciembre	14.7	6.2
Temp. Media Anual y Precip. Total Anual respectivamente	16.1	1079.5

\* Comunicación personal: Ing. Aurelio Díaz, Comisión Nacional del Agua, Estatal de Morelos, Febrero del 2001

Figura 8. Precipitación, Temperatura y Prácticas de manejo realizadas durante el período experimental, en campo.



Nota: Los cortes corresponden únicamente a los tratamientos con pasto

Establecimiento = elaboración de cepas, fragmentación del tepetate, trasplante de especies y aplicación del estiércol

E0 = Etapa Inicial

E1 = Etapa Uno (un año)

E2 = Etapa Dos (dos años)

## 8. Vegetación

La flora está constituida principalmente por bosque de pino encino y de pino (Instituto de Cultura de Morelos, 2000), que han sido altamente perturbados, debido a la tala excesiva, hecha con el fin de integrar las zonas a los distintos procesos agropecuarios.

## 9. Elección de la zona de estudio

Se eligió el Municipio de Tetela del Volcán para el establecimiento del estudio, ya que gran parte de su superficie queda comprendida en la franja de tepetates 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 los aguaceros, así como las pendientes de medias a fuertes que la caracterizan. Esta situación, aunada al clima y geomorfología del lugar, ha incrementado la susceptibilidad del suelo a la erosión, permitiendo así el afloramiento del tepetate. También por ser una zona dedicada a la fruticultura y actividades pecuarias, además, se plantea la posibilidad de extrapolar resultados a zonas con características similares y habilitar extensas áreas improductivas, lo que constituye una alternativa para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones involucradas, disminuye el riesgo de la erosión y por lo tanto, el afloramiento de los tepetates e incrementa el conocimiento sobre estos materiales.

## 10. Características de las capas endurecidas

El material utilizado para este estudio, corresponde a un tepetate tipo duripán, que se define como una capa endurecida de origen volcánico, soldada desde el momento de su depósito, con influencia de procesos pedogénicos y con un alto contenido de sílice (Soil Survey Staff, 1990 y Flores *et al.*, 1992).

El material presenta un color pardo amarillento (10YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo. Su textura corresponde a una Franco arcillosa, con un porcentaje de arenas de 31.55, de limo de 34.80 y de arcillas de 33.20, lo cual es característico de los tepetates (Flores *et al.*, 1992). Su densidad aparente es de 1.70 g/cm<sup>3</sup>.

El pH en KCl (1:2.5), posee valores entre 5.1 y 5.3. Los porcentajes de materia orgánica van de extremadamente pobres a pobres, lo cual es representativo de las capas endurecidas, con valores menores al 1.00 %. Su capacidad de intercambio catiónico total varía de media a alta, con un máximo de 24.04  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ , esto coincide con lo reportado por Flores *et al.* (1992 y 1996), atribuyéndolo a la presencia de sílice amorfa. En lo que respecta a bases intercambiables: el Ca y el Mg presentan valores ligeramente bajos, con un máximo de 8.64  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  y 6.44  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  respectivamente, el contenido de Na de 0.78 a 1.0 y en K presenta valores que van de medios a altos, según Vázquez y Bautista (1993). Los valores del porcentaje de saturación de bases, se encuentran entre el 68.85 y 81.19 %, lo que es considerado alto (Flores *et al.*, 1992, y Vázquez y Bautista, 1993).



## VI. METODOLOGÍA

### 1. Planteamiento

Este trabajo forma parte de un proyecto que se lleva a cabo en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos, en el Departamento de Edafología, del Instituto de Geología de la UNAM, bajo la dirección del Dr. David Flores Román con el nombre de "Efecto de *Ficus carica* L., *Chloris gayana* Kunth. y estiércol de bovino, en la estructuración de tepetate fracturado en Tetela del Volcán Morelos."

Se llevó a cabo la revisión de literatura, referente a capas volcánicas endurecidas, especies vegetales tanto frutales como forrajeras, climáticos de la zona de estudio, tipos de abonos y fertilizantes.

La selección de la zona de estudio se realizó bajo la supervisión del Dr. David Flores Román junto con la M. en C. Alma S. Velázquez Rodríguez, tomando en cuenta que el Eje Neovolcánico es una zona con un alto porcentaje de tepetate. Además, que INEGI (2000), menciona que es una zona de vocación agrícola-pecuaria con vegetación de pastizal.

La elección de las especies vegetales se realizó con base en las características específicas de la zona, además de ser reportadas como especies resistentes, con raíces fuertes y agresivas, no delicadas y sin necesidad de cuidados especiales para su establecimiento en tepetate (Velázquez, 1997 y Herrera, 1999). Además, de que estas especies son de importancia económica para la zona de estudio.

Para este estudio se eligió el estiércol de bovino como abono, ya que es un subproducto de fácil obtención y bajo costo en la zona de estudio. La dosis aplicada (72 t/ha), se seleccionó tomando en cuenta las deficiencias del tepetate, los requerimientos del pasto, la higuera y las cantidades recomendadas en estudios previos.

Respecto a las dosis y tipo de fertilizante, se seleccionaron bajo el mismo criterio que el abono; tomando en cuenta los requerimientos del pasto, con el conocimiento de la disponibilidad nutrimental

del tepetate, en el que la principal limitante es el contenido de nitrógeno y fósforo. Se analizaron también estudios sobre fertilización inorgánica para el pasto en México, tomándose en cuenta las dosis normalmente empleadas por los campesinos de la zona. Con base en ello se utilizó sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y cloruro de potasio, en una dosis de 250-200-00 para el pasto y de 80-80-20 para la higuera. El fertilizante utilizado en el experimento, llevó la mezcla de N, P y K de los siguientes compuestos:

- Sulfato de Amonio  $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$

Contiene el 21% de N y el 24% de S, es uno de los fertilizantes solubles dominantes dentro del mercado. Hoy en día es utilizado junto con el superfosfato, debido a los buenos resultados que presenta en cuanto al incremento de la producción de las cosechas. Dentro de sus ventajas se cuenta con que es poco lixiviable, ya que el nitrógeno se encuentra en forma de amonio y además de ser considerada una excelente fuente de azufre (Simpson, 1991).

- Superfosfato de Calcio Simple  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{CaSO}_4 (2\text{H}_2\text{O}))$

Contiene del 18 al 21 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Es soluble en agua y contiene del 10 al 12 % de azufre. Es considerado como uno de los fertilizantes más usados del último siglo (Simpson, 1991).

- Cloruro de Potasio (KCl)

Se le conoce dentro del mercado como muriato de potasio, contiene el 60 % de  $\text{K}_2\text{O}$ , es soluble en agua. Es el fertilizante de potasio más usado y vendido en el mundo (Simpson, 1991).

## 2. Desarrollo Experimental

En la parcela (Figura 9), se elaboraron 96 cepas de 30 x 30 x 30 cm, que corresponden a las unidades experimentales, con una distancia de tres metros entre cada una, en las cuales se colocaron 50 kg de tepetate fragmentado. De cada una se tomó una muestra que corresponde al material en estado inicial (etapa cero). Las higueras, de dos años de edad, fueron donadas por la Comisión Nacional de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADER), del vivero Netzahualcoyotl, en el Distrito Federal y las semillas de pasto, se compraron en una casa comercial de la Ciudad de México. El trasplante de las especies vegetales a las cepas (Figura 10) se llevó a cabo a raíz desnuda; el pasto a los 15 días de su emergencia y las higueras (de dos años de edad), después de un período de 15 días de aclimatación en el terreno. La dosis de estiércol de bovino para las dos especies se mezcló en seco, con el tepetate antes de vaciarlo a la cepa. El fertilizante inorgánico se aplicó en el pasto dividiendo las dosis, entre el número de cortes por año (cinco). La primera dosis se aplicó 15 días después del trasplante y las restantes, 10 días después de cada corte. Para la higuera, se aplicó la dosis completa 15 días después del trasplante y se repitió al año siguiente.

En total se establecieron 12 tratamientos (Tabla 7). El diseño experimental fue un factorial  $3 \times 2 \times 2$ :

3 *Especies vegetales* (sin especie, con higuera y con pasto) x 2 *Tiempo* (doce y veinticuatro meses) x 2 *Enmienda* (con fertilizante y/o con estiércol), con distribución de los tratamientos en bloques al azar y ocho repeticiones. En donde la unidad experimental correspondió a una cepa, que pudo estar sin nada (testigo), con una planta de higuera o con 5 macollos de pasto (Figura 10).



Figura 9. Parcela Experimental, Tetela del Volcán

Tabla 7. Descripción de los tratamientos.

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



Figura 10. Trasplante de las higueras a las cepas



Figura 12. Muestreo del Tepetate.

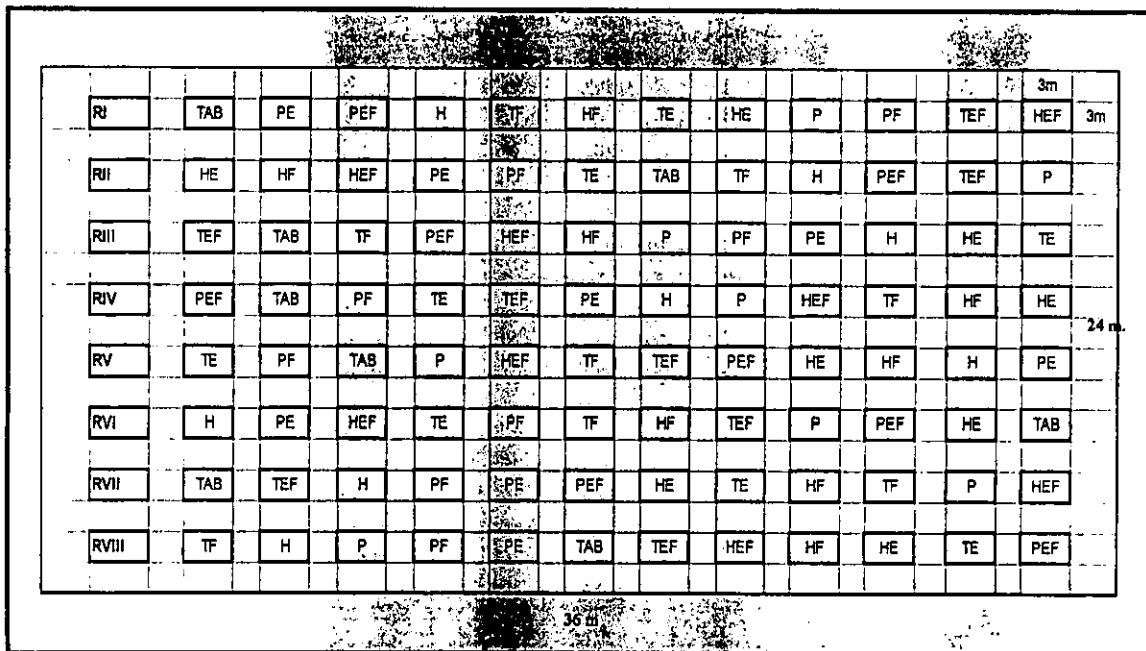


Figura 11. Distribución de los tratamientos en el lote experimental.  
 En donde: R = repeticiones

Se llevaron a cabo tres muestreos anuales del tepetate en las cepas (Figura 12), correspondientes a las etapas de investigación: Etapa Inicial (cero meses), Etapa Uno (doce meses) y Etapa Dos (veinticuatro meses), utilizando una barrena para núcleos inalterados. De cada uno de los muestreos se obtuvieron 96 muestras, una por cada cepa, correspondientes a las ocho repeticiones con sus doce tratamientos. Las muestras se tomaron con la barrena a un lado de la planta con la finalidad de afectar lo menos posible el sistema radical y se depositaron en bolsas de plástico, previamente etiquetadas. La Figura 13, resume los factores y las dos fases de trabajo de campo y de laboratorio, para su mejor comprensión.

El material del campo, fue transportado al Instituto de Geología de la UNAM, en donde se secó al aire sobre periódicos en el invernadero, después se molió y tamizó a 2 mm para realizar los siguientes análisis de laboratorio.

### 3. Determinaciones Físicas y Químicas

Los análisis del tepetate se llevaron a cabo con base en Sparks, (1996) y Klute, (1998).

#### • Caracterización física

- Color en seco y en húmedo.
- Densidad aparente por el método de parafina
- Determinación granulométrica por el método de la pipeta

#### • Caracterización Química

- pH en solución acuosa y en KCl, relación 1:2.5, con un potenciómetro marca Orion, modelo 920 A.
- Materia Orgánica, por el método Walkley y Black.
- Capacidad de Intercambio Cationico Total, por centrifugación con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y cloruro de sodio ( $\text{NaCl}_2$ ).
- Bases Intercambiables. Calcio y Magnesio con el método del Versenato y Sodio y Potasio, con el Flamómetro Corning, modelo 400.



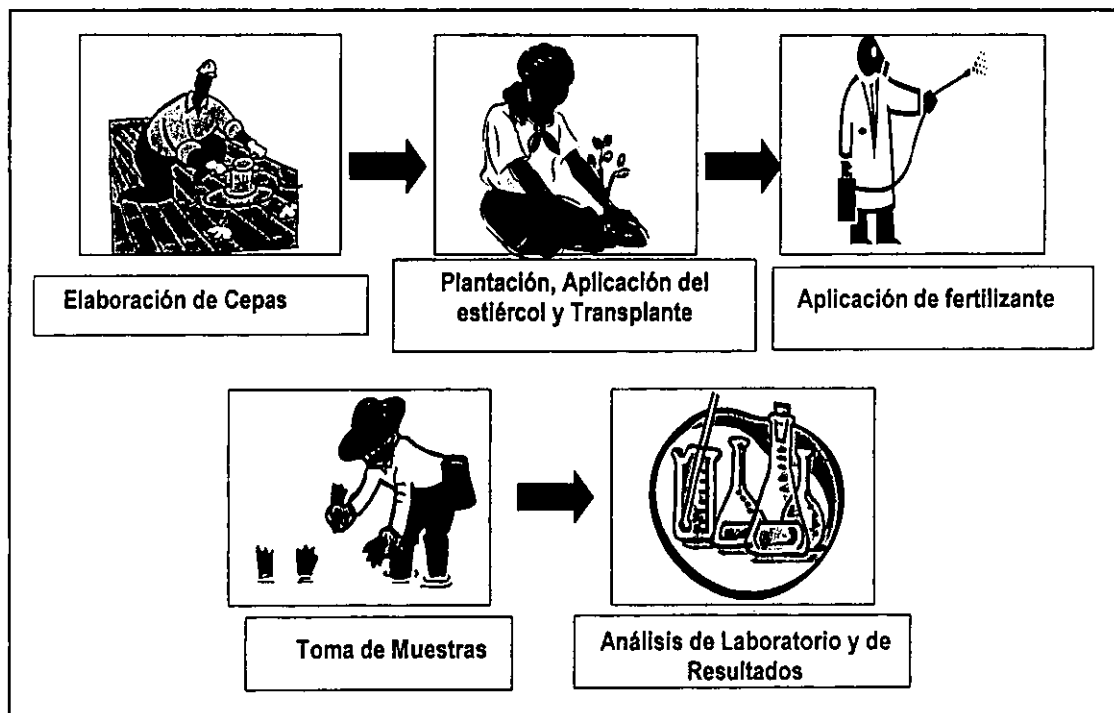


Figura 13. Resumen de la metodología.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros de estudio analizados en esta investigación fueron: a) potencial hidrógeno, b) materia orgánica, c) capacidad de intercambio catiónico, d) *bases intercambiables* y e) *porcentaje de saturación de bases*, se escogieron, debido a que son consideradas como las cinco determinaciones más relevantes para determinar la fertilidad de los suelos. De ahí su importancia dentro del estudio de los tepetates, considerados como capas endurecidas prácticamente carentes de nutrimentos. Además de que el conocimiento de las características químicas de los suelos es fundamental para el entendimiento de su génesis y del diseño de prácticas de manejo adecuadas (Etchevers *et al.*, 1992).

Los resultados que a continuación se presentan se analizaron con base en un período experimental de dos años, dividido en tres etapas:

- **Etapa Inicial.**- el material en estado inicial, solamente fragmentado, sin tratamientos.
- **Etapa Uno.**- *el material después de un año de experimentación.*
- **Etapa Dos.**- *el material después de dos años de experimentación.*

## 1. POTENCIAL HIDRÓGENO

### 1.1 pH en Agua

El análisis de varianza de los resultados (Apéndice Tabla 1), mostró que no hubo efecto del estiércol, del fertilizante, ni de las especies vegetales sobre el pH. Sin embargo, el factor tiempo sí provocó diferencias altamente significativas, tal vez debido a que el pH de cualquier sistema abierto se encuentra en constante cambio, en relación a los factores formadores de suelo, como el material parental, clima, actividad biológica, manejo, contenido de humedad al momento del muestreo y tiempo (Wild, 1992; Troeh y Thompson, 1993).

El material en estado inicial, tuvo valores de 6.3 a 6.6 (Tabla 8), Troeh y Thompson, (1993), indican que entran en la escala de ligeramente ácidos, lo cual coincide con Etchevers (1997), quien menciona que los tepetates presentan valores de pH, que pueden ser neutros, muy ligeramente ácidos o muy ligeramente alcalinos.

En la etapa uno se presentó un comportamiento uniforme con todos los tratamientos, ya que, los valores más altos se obtuvieron en aquellos que tienen solamente estiércol con o sin especies vegetales, es decir, Testigo con estiércol (TE), Higuera con estiércol (HE) y Pasto con estiércol (PE) (Tabla 8). De ellos fue en TE donde se registró el pH más alto de todos, lo que pudo deberse a que algunas veces los exudados de las raíces acidifican el pH del medio, por lo que al ser un tratamiento sin planta, no hubo el factor acidificante de las raíces (Wild, 1992; Troeh y Thompson, 1993). No existieron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos, a excepción de TF, el cual fue significativamente más ácido, debido a la acción del sulfato de amonio del fertilizante (Wild, 1992; Domínguez, 1997), sin que hubiera especie vegetal que lo absorbiera.

En la etapa Dos, los valores se mantienen muy parecidos a los de la etapa uno, a excepción de HEF y PEF, los cuales presentan los valores más altos de 6.78 y 6.70 respectivamente, tal vez debido a que las raíces a pesar de que pueden aportar exudados acidificantes al medio, son también capaces de evitar la lixiviación, retener una mayor cantidad de agua y por tanto, a elevar los valores de pH

(Wild, 1992). Puede ser que también exista algún efecto por la interacción del estiércol y el fertilizante que tienda a alcalinizar ligeramente los valores de pH. Sin embargo, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas, lo que indica que el tratamiento no actuó significativamente en la acidificación y/o alcalinización del tepetate en esta etapa.

En general, a lo largo del periodo experimental existió una ligera tendencia a la neutralidad, ya que siempre se presentaron valores más altos que los del estado inicial (Figura 14). En el caso de los testigos, los tratamientos con estiércol presentaron los valores mayores. En el caso de los tratamientos con especies vegetales ya sea higuera o pasto, los que tenían los tres factores, (especie más estiércol más fertilizante) dieron los valores más cercanos a la neutralidad. Por el contrario, los tratamientos con fertilizante obtuvieron los valores más bajos, ya que al disociarse el ión sulfato del sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y al unirse con los hidrogeniones forma ácido sulfúrico, lo que tiende a acidificar el medio (Wild, 1992).

Por lo que se refiere al factor tiempo, en la etapa inicial se presentan algunos valores significativamente más ácidos (Tabla 8). Los tratamientos con pasto son los que obtuvieron los valores menos ácidos. De acuerdo con lo reportado por Troeh y Thompson, (1993), en las regiones templadas los suelos sembrados con pastos son, usualmente, menos ácidos que los suelos sembrados con árboles. Además, los procesos de lixiviación tienden a acidificar el suelo; ya que remueven las bases, pero este efecto se disminuye con el establecimiento de especies vegetales. Esta reducción ocurre porque las plantas en desarrollo transpiran grandes cantidades de agua, previniendo la lixiviación, aunque cabe mencionar que la vegetación arbórea tiende a incrementar los efectos de lavado, mientras que los pastos, son capaces de retener una mayor cantidad de agua por su raíz fascicular, lo que se destaca en la Tabla 8, siendo los valores más altos los PEF, en donde el fertilizante y el estiércol son absorbidos por la planta. Las diferencias significativas se presentaron en los valores de la etapa inicial, los que obtuvieron valores un poco más ácidos, con una ligera diferencia significativa en comparación con la primera y la segunda etapa, las cuales fueron estadísticamente iguales. Esto pudo deberse a la evolución de la acidez y la alcalinidad a lo largo del experimento (Wild, 1992), además de la cantidad de agua acumulada dentro de las cepas al momento de la toma de las muestras, ya que los tres muestreos se tomaron en época de lluvias.

En general, el pH se encuentra dentro de los intervalos adecuados para la absorción de prácticamente todos los nutrientes. El rango de pH a lo largo del experimento es considerado como óptimo, ya que se encontró dentro de los valores de 6.0 a 7.5 (Troeh y Thompson, 1993).

Tabla 8. Valor de pH en agua del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	6.36b*	6.69a	6.63a
TF	6.45b	6.51b	6.58a
TE	6.63a	6.73a	6.75a
TEF	6.48b	6.55a	6.70a
H	6.37b	6.69a	6.70a
HF	6.66a	6.68a	6.74a
HE	6.62a	6.69a	6.77a
HEF	6.47b	6.58a	6.78a
P	6.56a	6.68a	6.68a
PF	6.40b	6.69a	6.63a
PE	6.55a	6.69a	6.64a
PEF	6.50b	6.70a	6.70a

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

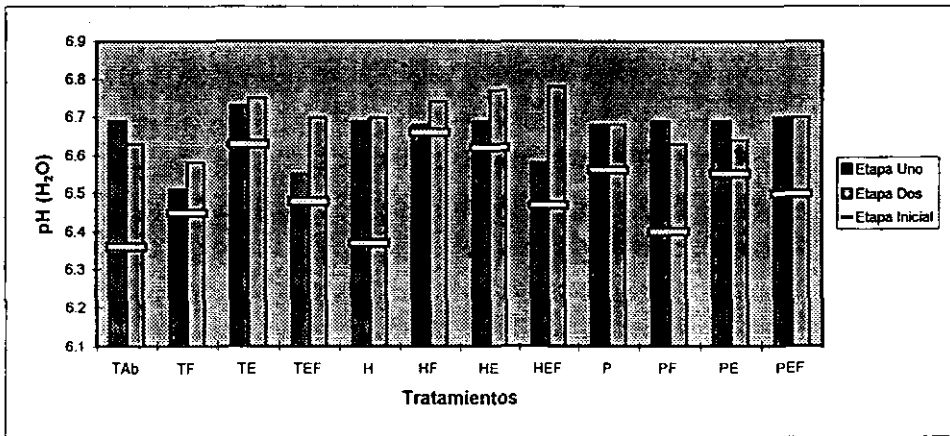


Figura 14. pH en agua del tepetate, en las tres etapas de experimentación.

## 1.2 pH en Cloruro de Potasio

El análisis de varianza de los resultados (Apéndice Tabla 1), mostró que no hubo efecto de las especies vegetales sobre el pH. Sin embargo, con el factor tiempo sí se obtuvieron diferencias significativas, tal y como ocurrió en el pH en agua. Además, el efecto del estiércol y del fertilizante sí dió diferencias altamente significativas, debido a que, como ya se mencionó en el pH en agua, la presencia, ya sea del estiércol, del fertilizante o de la combinación de ambos, tiene efecto acidificante sobre el medio (Wild, 1992).

El efecto del pH en KCl se observa en la Tabla 9 y Figura 15. En la etapa inicial, se pueden observar valores que van de 5.15 a 5.37, existiendo diferencias ligeramente significativas entre ellos.

En la etapa Uno, de los tratamientos testigo, sólo el TF fue significativamente más bajo, tal vez debido a la acción acidificante del sulfato de amonio y que como no hay especie vegetal que lo absorba, se concentró acidificando un poco más el medio. En los tratamientos con higuera todos resultaron ser estadísticamente iguales, de ellos, el valor más alto lo presentó HE. En los tratamientos con pasto también todos fueron iguales entre ellos, siendo PEF el más alto de todos.

En la etapa Dos, ocurrió prácticamente lo mismo que en la etapa Uno, pues, de los tratamientos testigo, sólo el TF presentó diferencias significativas, obteniendo el valor más bajo. Los tratamientos con higuera y con pasto presentaron un comportamiento homogéneo, ya que todos fueron estadísticamente iguales y de ellos el HE y el PE presentaron los valores más altos; lo mismo pasó con el TE. Esto pudo deberse a que el estiércol de bovino por sí sólo es menos acidificante que el fertilizante (Potash & Phosphate Institute, 1997).

A lo largo del experimento (Figura 15), existió la tendencia general de aumentar los valores de pH, la cual puede atribuirse a las condiciones de drenaje confinado, características de la baja infiltración propia del tepetate, aunado al crecimiento radical, que pudieron favorecer la ligera tendencia a la alcalinización, así como a la disolución de los feldspatos sódicos, cálcicos y potásicos, abundantes en los tepetates (Flores *et al.*, 1992 y Acevedo y Flores, 2000). A excepción del HF y TF, en los

cuales baja, en el caso de la higuera debido a los compuestos que exudan las raíces de la misma y que se depositan directamente en el suelo que suelen acidificar el pH (Karimian y Razmi, 1990); en el caso del TF y HF, la acidificación pudo deberse a la acción bien conocida del sulfato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , antes mencionada. Los tratamientos con estiércol y la suma del estiércol y fertilizante presentan los valores más altos, ya sea con o sin especie vegetal, lo que indica que la especie como tal, no produce el efecto, sino que, la acción del estiércol y la del fertilizante lo provocan de forma indirecta, ya que promueven un mayor crecimiento radical, que ayuda al empaquetamiento del material y ocasiona compactación, dificultando el drenaje, acentuando el proceso de alcalinización (Velázquez, 1997). De ellos destaca la acción del estiércol por sí solo, pues presenta los valores más altos de 5.32 a 5.42. Entre las etapas, prácticamente no existieron diferencias significativas, solamente se presentaron valores significativamente bajos en la etapa inicial y en los testigos con fertilizante de las otras dos etapas, debido a la acción acidificante del fertilizante (Dominguez, 1997).

El pH en KCl, fue sustancialmente menor que el pH en agua (entre 1.2 y 1.5 unidades) Tabla 8 y 9. La diferencia entre estas dos determinaciones pudo deberse, en el caso de pH en agua, a las cantidades de sales solubles que contienen las muestras, que se disuelven al adicionar agua destilada, lo cual tiende a elevar los valores del pH. En contraste, la lectura de pH en KCl se hace en un medio con una elevada fuerza iónica, lo que impide que el efecto de las sales nativas de la muestra se manifieste con intensidad (Etchevers *et al.*, 1992).



Tabla 9. Valor de pH en KCl del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	5.15b*	5.26a	5.23a
TF	5.17b	5.11b	5.16b
TE	5.35a	5.35a	5.41a
TEF	5.26a	5.29a	5.29a
H	5.11b	5.24a	5.26a
HF	5.37a	5.23a	5.32a
HE	5.29a	5.32a	5.35a
HEF	5.22a	5.26a	5.30a
P	5.24a	5.28a	5.35a
PF	5.15b	5.27a	5.27a
PE	5.32a	5.30a	5.42a
PEF	5.16b	5.35a	5.31a

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

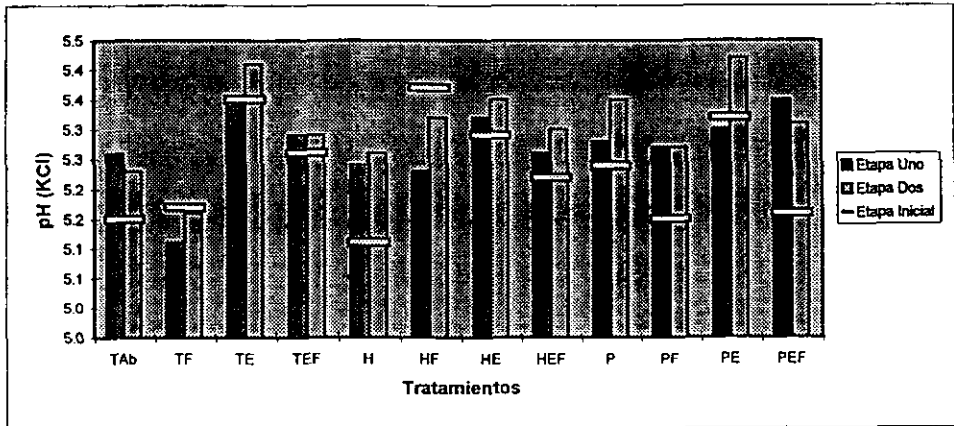


Figura 15. pH en KCl del tepetate, en las tres etapas de experimentación

## 2. MATERIA ORGÁNICA

El análisis de varianza (Apéndice Tabla 1), mostró que tanto las especies vegetales, el estiércol, el fertilizante y el tiempo provocaron diferencias altamente significativas en el contenido de materia orgánica del tepetate. Esto pudo ser causado a medida que las especies vegetales aportaron materia orgánica a través de los exudados propios de su metabolismo y de la descomposición de sus restos (Brady & Weil, 1999). Los tratamientos que presentan estiércol y la combinación de estiércol con fertilizante, aportan un mayor contenido de materia orgánica, que los que sólo contienen la especie, fertilizante y los testigos absolutos. Esto se debe a que el estiércol tiene un efecto más duradero, el cual pudo prolongarse hasta la segunda etapa (dos años de experimentación). De igual forma, la interacción entre los factores tiempo y enmienda, fue altamente significativa, tal vez debido a que en el caso del estiércol sólo se aplicó al inicio del experimento y las dosis del fertilizante fueron aplicadas en tiempos específicos, lo que alteraba los contenidos de materia orgánica, dependiendo de la etapa en la que fueran aplicados. Las interacciones entre los factores especie-tiempo, especie-enmienda y especie-tiempo-enmienda, no presentaron un efecto significativo en el contenido de materia orgánica.

El material en estado inicial presentó valores que van de 0.44 a 0.80 %, siendo sólo el valor de 0.44, significativamente menor que los restantes (Tabla 10). Estos valores coinciden con lo reportado por Nimios y Ortiz (1987) y Zebrowski, (1997), quienes mencionan que los tepetates son prácticamente carentes de materia orgánica.

Al año de experimentación (etapa Uno), los tratamientos testigos y las que incluyeron a las higueras, presentaron el mismo comportamiento, siendo TE, HE, TEF y HEF los que obtuvieron porcentajes significativamente más altos, destacando los que sólo tienen estiércol TE y HE. Esto pudo ser a causa del efecto residual del estiércol, el cual libera los nutrientes en forma más lenta que el fertilizante. Los nutrientes en el fertilizante, están completamente mineralizados, de manera que son fácilmente asimilables para las plantas, las cuales los absorben rápidamente desde el momento de su aplicación, caso contrario al comportamiento del estiércol. El estiércol pudo favorecer el desarrollo de las especies vegetales, lo que da como resultado un aumento en la cantidad de biomasa, así como de compuestos producidos por el sistema radical, lo que incrementa el

metabolismo vegetal y en consecuencia, aumenta el aporte de materia orgánica al sustrato (Velázquez, 1997; Trinidad, 1999). En los tratamientos con pasto sucede lo mismo que en las higueras y testigos, el mayor porcentaje se obtuvo con la combinación de PEF, en todas las etapas, con casi un 2%, tal vez debido a que el pasto al ser una especie rastrera, aportó mayor cantidad de materia vegetal susceptible de ser descompuesta, que la aportada por la higuera; de la misma manera, la forma fascicular de la raíz del pasto excreta una mayor cantidad de exudados, por lo que el contenido de materia orgánica fue más alto. El fertilizante aporta nutrientes mineralizados y fácilmente asimilables por las plantas, por lo que tal efecto influyó a que el estiércol se acumulara y, por lo tanto, se incrementara el porcentaje de materia orgánica del tepetate, Tabla 10 (Troeh y Thompson, 1993; Trinidad, 1999).

En la etapa Dos (Tabla 10), el porcentaje de materia orgánica en los testigos fue estadísticamente igual; el valor más alto lo presentó el TAb con 1.35 %, lo cual pudo deberse a que en el terreno, a lo largo del experimento, existieron factores externos de error que pudieron alterar estas condiciones, como que entraban algunos animales como perros y caballos, que el terreno cultivado, estaba muy cerca (a menos de 10 metros), o que el pasto algunas veces crecía tanto, que se extendía a las cepas vecinas. Los tratamientos con higuera fueron estadísticamente iguales, a excepción de la HE, que obtuvo un valor significativamente más alto de 1.39 %; aquí se puede observar de nuevo el efecto residual del estiércol, en cuanto a la liberación lenta de nutrientes y materia orgánica (Trinidad, 1999). Todos los tratamientos con pasto fueron estadísticamente iguales, obteniéndose con PE el valor más alto de 1.52 % (Tabla 10).

Como se puede observar en la Figura 16, hubo un incremento en el porcentaje de materia orgánica, altamente significativo, con todos los tratamientos de la etapa inicial a la etapa uno; posteriormente, a los dos años (etapa Dos), se observó una pequeña disminución, o bien, se mantuvieron los porcentajes con todos los tratamientos. Cabe destacar que la disminución en ningún caso llegó a ser tan baja como en el estado inicial. Esto puede atribuirse a que las plantas ya se encontraban en una etapa de mayor desarrollo, en el que había una mayor demanda de materia orgánica y/o a que la dosis de estiércol sólo se adicionó al establecer el experimento, sin colocar una segunda dosis, por lo que se pudo haber agotado o perdido por lixiviación (Wild, 1992).

Los tratamientos donde se obtuvieron los mayores porcentajes, son los que tuvieron pasto, siendo PEF el que obtuvo el valor más alto de todos los tratamientos. Esto tal vez pudo deberse a que el pasto posee una raíz fascicular, la cual proporciona una mayor cantidad de exudados, pues posee más ápices, los cuales fisiológicamente son más activos y producen mucilagos; así como también, a que el material vegetal es mucho mayor en biomasa y se extiende sobre el suelo aportando materia orgánica como abono verde. En cambio, la raíz típica de la higuera, es menos importante en cuanto al aporte de materia orgánica, debido a que el sistema radical vive muchos años, por lo que la transformación anual de materia muerta del mismo es mucho menor que la aportada por los pastos, en los que la raíz la cual se renueva continuamente y la biomasa vegetal aportada por las higueras es menor (Troeh y Thompson, 1993). El hecho de que el tratamiento contenía tanto estiércol como fertilizante, pudo fortalecer e incrementar los compuestos orgánicos presentes y con ello, su porcentaje de materia orgánica.

Tabla 10. Porcentaje de Materia Orgánica del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	0.79d*	1.21c	1.35b
TF	0.53d	1.16c	1.24b
TE	0.52d	1.44b	1.27b
TEF	0.71d	1.31b	1.33b
H	0.76d	1.04c	1.03c
HF	0.44e	1.15c	1.01c
HE	0.49d	1.59b	1.39b
HEF	0.71d	1.50b	1.05c
P	0.61d	1.20c	1.24b
PF	0.65d	1.09c	1.28b
PE	0.82d	1.62a	1.52b
PEF	0.65d	1.97a	1.40b

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

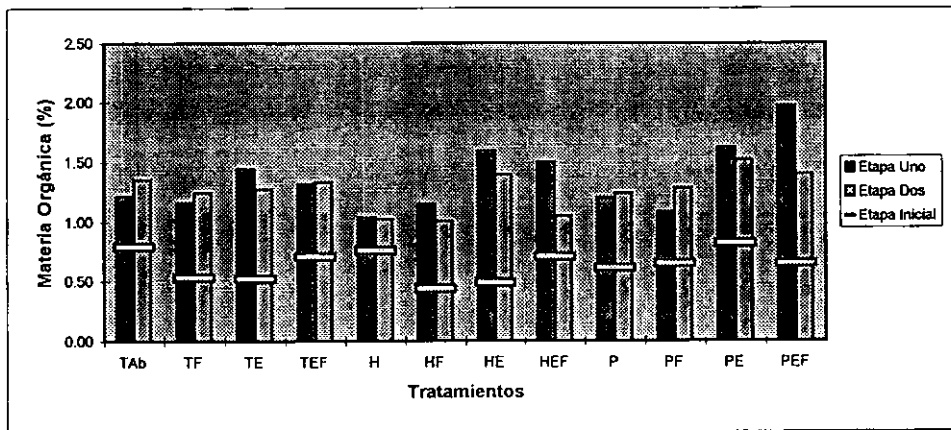


Figura 16. Porcentaje de Materia Orgánica del tepetate, en las tres etapas de experimentación.

### 3. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL

En el análisis de varianza (Apéndice Tabla 1), el factor tiempo mostró un efecto altamente significativo sobre los valores de CICT, debido a que los sitios de intercambio presentan una evolución natural en el tiempo. En cuanto a la interacción de los factores tiempo-enmienda, se observó una diferencia significativa, lo cual pudo deberse, de acuerdo con Tisdale *et al.*, (1994), a las interacciones de los iones presentes en el suelo a lo largo del experimento como el  $\text{Ca}^{++}$ , el  $\text{Mg}^{++}$  y el  $\text{K}^+$ , así como a la cantidad y el tipo de arcillas presentes, que como es reportado por Flores *et al.*, (1991), algunos tepetates tienen un alto contenido de ellas.

El material en estado inicial presentó valores que varían de medios a altos (Vázquez y Bautista, 1993), con un máximo de  $24.04 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Tabla 11), esto coincide con lo reportado por Flores *et al.*, (1992, 1996) y Acevedo y Flores (2000), atribuyéndolo a la presencia de la sílice amorfa, la cual posee muchos sitios de intercambio. Sólo existen ligeras diferencias significativas, las cuales pueden ser atribuidas a la heterogeneidad del terreno.

En la Etapa Uno, los testigos y los pastos presentaron exactamente el mismo comportamiento, obteniéndose los valores más altos, con los tratamientos que contenían estiércol y los de la mezcla de estiércol y fertilizante (TE, PE, TEF y PEF), que fueron los únicos tratamientos capaces de incrementar la CICT del material en estado inicial. Esto puede atribuirse a que el humus presente en la materia orgánica, proporcionado por el estiércol, es conocido por su capacidad de aumentar los sitios de intercambio para la adsorción de nutrimentos (Miller & Gardiner, 1998). Los tratamientos con higuera no presentaron diferencias significativas, Tabla 11.

En la Etapa Dos, los valores fueron significativamente más bajos. Los testigos se comportaron estadísticamente iguales. Los tratamientos con higuera sí presentaron diferencias significativas, siendo HE el tratamiento con el valor más bajo de  $14.31 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Tabla 11). Por lo que respecta a los tratamientos con pasto, sólo P mostró una CICT significativamente más baja, esto pudo deberse a que en él no existió ninguna influencia del estiércol o el fertilizante, ni los efectos suficientes en cuanto a la fragmentación del tepetate, para crear más sitios de intercambio, que incrementaran su capacidad.

En general, a lo largo del período experimental (Figura 17), hubo una tendencia a la disminución de la CICT, la cual, de la etapa inicial al año de experimentación, presentó con la mayoría de los tratamientos, un mantenimiento de los valores, a excepción del TE, TEF, P, PE y PEF, en los cuales se incrementó el valor de CICT. A los dos años de experimentación, se presentó una disminución altamente significativa, esto se atribuye a procesos de microagregación del suelo, los cuales se incrementan a lo largo del período experimental y promueve que las partículas de menor tamaño, como las arcillas, se unan, teniendo así una menor superficie de reacción, disminuyendo la CICT (Acevedo y Flores, 2000). Además, en el caso de los tepetates, se ha observado que la sílice amorfa actúa como cementante, uniendo las partículas, reduciendo así la superficie de reacción y por tanto, disminuyendo la CICT (Velázquez, 1997).

Tabla 11. Valores de CICT del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación (cmol<sup>+</sup>kg<sup>-1</sup>)

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	20.05b*	21.16b	15.81c
TF	20.64b	18.51b	16.94c
TE	21.21b	22.35a	15.94c
TEF	18.96b	21.39a	16.56c
H	19.88b	20.57b	17.00c
HF	21.33a	21.23b	16.63c
HE	24.04a	20.45b	14.31d
HEF	20.87b	20.99b	16.58c
P	20.17b	21.8a	15.53d
PF	18.73b	19.94b	16.59c
PE	19.94b	21.87a	15.91c
PEF	20.17b	22.47a	15.94c

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

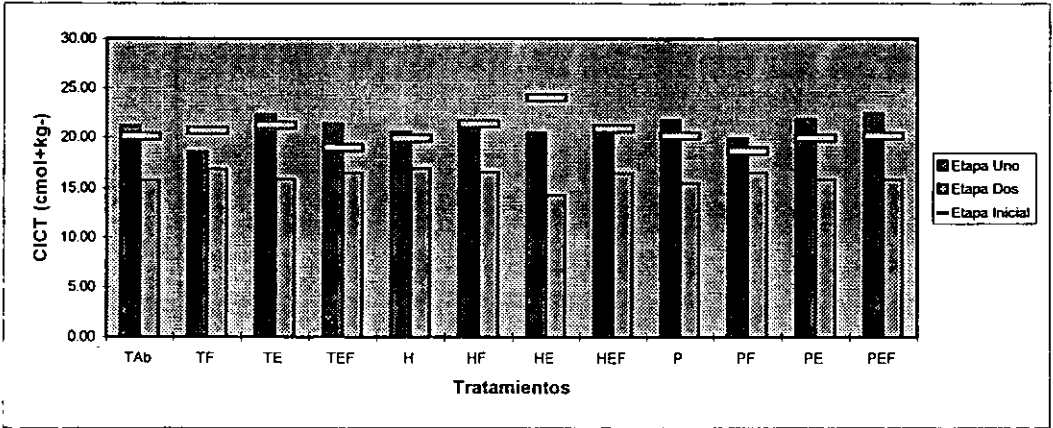


Figura 17. Valores de CICT del tepetate, en las tres etapas de experimentación.



#### 4. BASES INTERCAMBIABLES

##### 4.1 Calcio

En el análisis de varianza (Apéndice Tabla 1), se observó un efecto altamente significativo del tiempo, tal vez debido a la mineralización de los feldespatos cálcicos, presentes en los tepetates (Dominguez, 1997). En cuanto a la interacción especie-enmienda, mostró un efecto significativo, lo cual se debe a que el calcio es capaz de estimular el desarrollo de las raíces de las plantas al igual que el de las hojas.

El material en estado inicial presentó un contenido de calcio prácticamente uniforme, a excepción de dos valores, de los cuales, uno de ellos es significativamente más bajo y el otro, significativamente más alto, con valores de 6.75 y 8.64  $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente (Tabla 12), lo que puede atribuirse a la heterogeneidad del terreno. Este intervalo, de acuerdo con Vázquez y Bautista (1993), pertenece a valores que denotan una ligera deficiencia, lo cual concuerda con lo reportado por Flores *et al.* (1997).

Por lo que respecta al año de experimentación (Tabla 12), hubo una tendencia hacia el incremento de los valores de calcio. En los testigos, solamente el TF presentó una diferencia significativamente más baja, con un valor de 7.86  $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; tal vez debido a que el fertilizante bajo la influencia del sulfato amónico, permite que el calcio se desplace de la superficie de intercambio y se pierda por lavado (Wild, 1992). Los tratamientos con higuera presentaron un comportamiento contrario al de los testigos, ya que el HF fue el único significativamente diferente, pero esta vez fue el más alto. Tal vez esto se deba a que la dosis del fertilizante pudo aportar calcio, a través del superfosfato de calcio simple (Simpson, 1991). En los tratamientos con pasto, el único que presentó diferencias significativas fue el PEF con el valor más alto, de 9.54  $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ , lo que pudo ser causado, igual que en el HF, por la dosis del fertilizante a través del superfosfato de calcio simple (Tabla 12).

A los dos años de experimentación, los tratamientos testigo se comportaron iguales, a excepción del TAb, el cual obtuvo una diferencia significativa, con un valor más alto, tal vez debido a que los tepetates poseen una gran cantidad de feldespatos, los cuales son ricos en calcio (Flores *et al.*, 1992

y Miller & Gardiner, 1998). En los tratamientos con higuera el H y HF obtuvieron los valores significativamente más altos. En los tratamientos con pasto, el único significativamente más alto fue el PEF con un valor de 7.20, lo que puede atribuírsele al superfosfato de calcio simple y a los feldespatos del terreno.

En general (Figura 18), del material en estado inicial a la etapa uno se observó una tendencia a incrementar o mantener los valores de calcio, lo cual puede atribuirse a que el intemperismo de los feldespatos, ya sean sódicos, cálcicos o potásicos, por el agua de lluvia o de riego, da como resultado la formación de bicarbonato sódico y carbonato de calcio, por lo que se puede incrementar el contenido del mismo en el tepetate (Cajuste, 1977). Del material en estado inicial a la etapa dos, hubo una disminución significativa, los únicos tratamientos que mantuvieron sus valores estadísticamente uniformes fueron T :b, H , HF y PEF.

Tabla 12. Contenido de Calcio del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación (cmol+kg-)

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TA <b>b</b>	8.41 <b>b</b> *	8.94 <b>a</b>	7.02 <b>b</b>
TF	7.94 <b>b</b>	7.86 <b>b</b>	6.18 <b>c</b>
TE	7.09 <b>b</b>	10.06 <b>a</b>	6.48 <b>c</b>
TE <b>F</b>	7.09 <b>b</b>	8.94 <b>a</b>	6.54 <b>c</b>
H	7.62 <b>b</b>	7.35 <b>b</b>	6.96 <b>b</b>
HF	8.02 <b>b</b>	9.27 <b>a</b>	7.50 <b>b</b>
HE	8.64 <b>a</b>	8.39 <b>b</b>	6.42 <b>c</b>
HE <b>F</b>	8.08 <b>b</b>	8.41 <b>b</b>	6.60 <b>c</b>
P	6.75 <b>c</b>	7.46 <b>b</b>	7.02 <b>b</b>
PF	7.09 <b>b</b>	7.22 <b>b</b>	6.72 <b>c</b>
PE	6.91 <b>b</b>	8.21 <b>b</b>	6.66 <b>c</b>
PE <b>F</b>	8.22 <b>b</b>	9.54 <b>a</b>	7.20 <b>b</b>

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

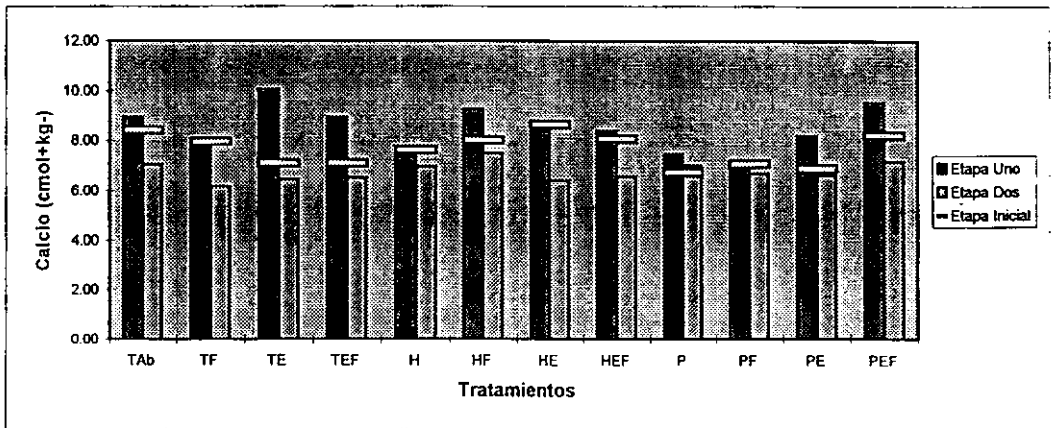


Figura 18. Contenido de Calcio del tepetate, en las tres etapas de experimentación

testigo absoluto, TAb. Esta disminución se dio de una forma bien definida de etapa a etapa de experimentación, pues ninguno de los tratamientos pudo igualar o sobrepasar los valores de magnesio obtenidos en estado inicial, lo cual pudo deberse a las exigencias de las especies vegetales, ya sea la higuera o el pasto, pues las dos requieren a este macronutriente pues es el átomo central de la clorofila, requerida para la fotosíntesis, además de ser necesario para la producción de semillas, tejidos meristemáticos y frutos (Miller & Gardiner, 1998).

Tabla 13. Contenido de Magnesio del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación (cmol+kg-)

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TA <sub>b</sub>	4.73b*	4.18b	3.51b
TF	5.62a	3.16c	3.44c
TE	6.29a	3.94b	4.05b
TEF	4.60b	3.31c	3.44c
H	6.44a	3.89b	3.27c
HF	5.17a	3.29c	2.91c
HE	6.26a	3.69b	3.63b
HEF	6.04a	3.95b	3.57b
P	5.88a	3.79b	4.07b
PF	4.76b	3.28c	4.43b
PE	4.79b	3.22c	3.63c
PEF	5.91a	4.15b	4.01b

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

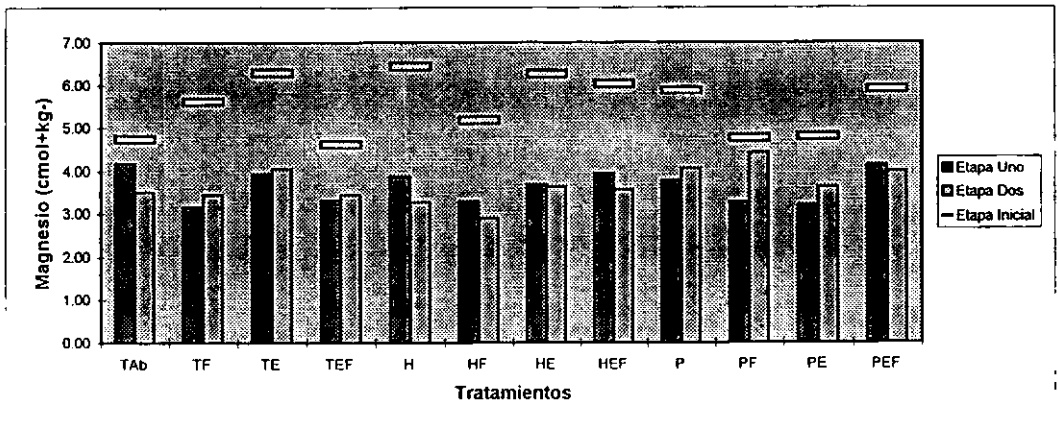


Figura 19. Contenido de Magnesio del tepetate, en las tres etapas de experimentación

### 4.3 Sodio

El análisis de varianza presentó un efecto altamente significativo del factor tiempo, en el contenido de  $\text{Na}^+$  del tepetate. También hubo un efecto significativo con la interacción de los factores especie-tiempo. En cuanto al factor especie, enmienda, tiempo-enmienda y especie-tiempo-enmienda, no se presentaron diferencias significativas (ver Apéndice Tabla 1).

En la etapa inicial, se presentaron valores que se encuentran dentro del intervalo de 0.65 a 1.0  $\text{cmol}^+\text{kg}$ ; lo cual es considerado por Vázquez y Bautista (1993) como un contenido de sodio de medio a alto.

Al primer año de experimentación (Tabla 14), los tratamientos testigo, presentaron diferencias ligeramente significativas, siendo TAb y TF, los tratamientos que obtuvieron los contenidos más altos, comparando con el TE y el TEF. De los tratamientos con higuera, solamente la HF obtuvo una diferencia significativa con un valor por abajo de las demás higueras. Por lo que respecta a los tratamientos con pasto, todos fueron estadísticamente iguales, a excepción del pasto solo (P), ya que obtuvo el valor más alto.

Durante la Etapa Dos, los testigos mostraron diferencias significativas, siendo el TF y TE los que obtuvieron los contenidos de sodio más altos, comparando con el TAb y el TEF. De los tratamientos con higuera, solamente la HE presentó un valor significativamente más bajo. En los tratamientos con pasto, el P fue el único que tuvo un valor significativamente más alto, al igual que en la etapa Uno.

En general, a lo largo del experimento (Figura 20), hubo una disminución en el contenido de sodio, al igual que por la influencia de los factores especie - etapa. El sodio decrece con respecto al tiempo; los únicos tratamientos con los que el contenido de sodio se mantuvo estadísticamente igual, fueron con el P y el PE. Debido a que los requerimientos de sodio por la planta fueron cada vez mayores, por lo que éste era absorbido cada vez más y/o como el sodio es un elemento muy soluble, pudo perderse por lavado a través de los espacios porosos del tepetate (Wild, 1992).

Tabla 14. Contenido de Sodio del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación (cmol+kg-)

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	0.83a*	0.85a	0.54c
TF	0.92a	0.85a	0.58b
TE	0.91a	0.61b	0.69b
TEF	0.79a	0.76b	0.52c
H	0.89a	0.89a	0.59b
HF	0.88a	0.77b	0.58b
HE	0.83a	0.85a	0.48c
HEF	1.00a	0.80a	0.57b
P	0.80a	0.78a	0.78a
PF	0.78a	0.65b	0.59b
PE	0.65b	0.66b	0.64b
PEF	0.86a	0.65b	0.56b

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

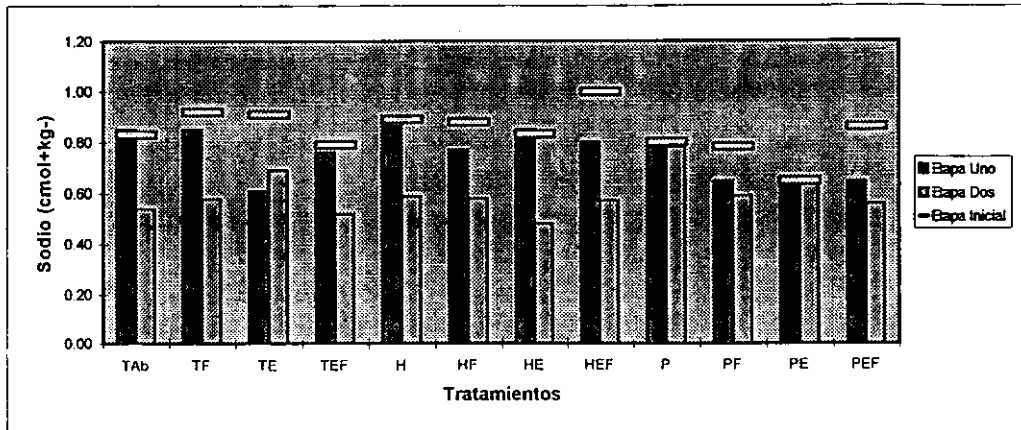


Figura 20. Contenido de Sodio del tepetate, en las tres etapas de experimentación.

#### 4.4 Potasio

El análisis de varianza (Apéndice, Tabla 1), mostró un efecto altamente significativo del factor tiempo y un efecto significativo del factor enmienda, lo cual puede atribuirse a las diferentes necesidades de las dos especies vegetales, ya que presentan una morfología y fisiología diferente. Esto es debido a que la higuera requiere de un mayor aporte de potasio que el pasto, pues éste es esencial para la formación de azúcares y carbohidratos para el fruto (Miller y Gardiner, 1998). En cuanto a los demás factores, no se presentaron diferencias significativas.

El material en estado inicial presentó valores de 0.93 a 1.47  $\text{cmol}\cdot\text{kg}$ ; estadísticamente iguales, a excepción de un solo valor del extremo más bajo del intervalo, Tabla 15.

Al año de experimentación, los testigos no presentaron diferencias significativas entre ellos. De los tratamientos con higuera, sólo la H tuvo diferencias significativamente más bajas, con un valor de 0.95  $\text{cmol}\cdot\text{kg}$ , debido a que tanto el fertilizante como el estiércol de bovino aportan una cantidad razonable de potasio (Wild, 1992). Los tratamientos con pasto sí presentaron diferencias significativas, el P y PF tuvieron valores estadísticamente más bajos, tal vez debido a que la dosis de fertilizante aplicada a los pastos no contenía potasio (250-200-00), ya que se puso con el objeto de mejorar la fructificación de las higueras, pues como es bien sabido, el potasio es de extrema importancia para la formación de carbohidratos que ayudan a la formación de frutos carnosos y que participan en la formación de azúcares (Miller y Gardiner, 1998); por lo que en los tratamientos con pasto no se tomó en cuenta eso. En contraste, los tratamientos PE y PEF, tuvieron los valores más altos, ya que la dosis de estiércol presente constituye una fuente importante de potasio (Weller y Willets, 1977 ; Stallings, 1982).

En la etapa Dos, en los tratamientos testigo, sólo se presentó un valor significativamente más alto, lo cual se puede atribuir a que es el que presenta el estiércol y el fertilizante, lo que incrementó en contenido de potasio. En el caso de los tratamientos con higuera y con pasto, todos se comportan estadísticamente igual, no existió ninguna diferencia significativa, tal vez debido a que el potasio aplicado con anterioridad en el experimento, para esta etapa se había agotado, al ser aprovechado



por las plantas. En el caso de los tratamientos con estiércol, habían pasado prácticamente dos años de su aplicación y en el caso de los tratamientos con fertilizante, la dosis se había puesto siete meses antes (Tabla 15).

En general, a lo largo del experimento, se observó una disminución en el contenido de potasio en todos los tratamientos, a excepción de que, en la primera etapa, con los tratamientos TF, TE, TEF, PE y PEF aumentó el contenido de potasio, con respecto a la etapa inicial. Esto se debió a que ni los tratamientos testigo, ni los que tenían pasto requirieron de una dosis alta de potasio, pues no tienen frutos, como es el caso de los tratamientos con higuera, en los cuales se observó una disminución, ya que necesitan el potasio para los higos (Figura 21). A los dos años de experimentación, la disminución en el contenido de potasio se vio acentuada debido a que el aplicado con el estiércol y el fertilizante pudo haberse agotado, por los requerimientos de las especies vegetales.

Tabla 15. Contenido de Potasio del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación (cmol+kg-)

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	1.44a*	1.17a	0.84b
TF	0.93b	1.02a	0.74b
TE	1.15a	1.48a	0.90b
TEF	1.04a	1.38a	1.03a
H	1.19a	0.95b	0.81b
HF	1.23a	1.16a	0.9b
HE	1.41a	1.17a	0.69b
HEF	1.28a	1.27a	0.88b
P	1.47a	0.97b	0.66b
PF	1.04a	0.91b	0.90b
PE	1.29a	1.42a	1.00b
PEF	1.27a	1.36a	0.78b

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

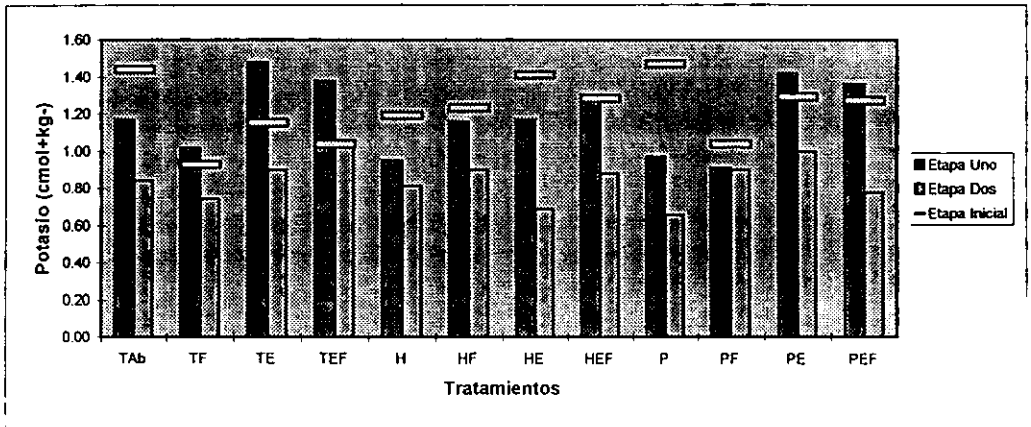


Figura 21. Contenido de Potasio del tepetate, en las tres etapas de experimentación.

## 5. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES

El análisis de varianza presentó un efecto altamente significativo del tiempo, en el porcentaje de saturación de bases, al igual que cuando se presentó la interacción especie-tiempo. En cuanto a los factores especie, enmienda, especie-enmienda, tiempo-enmienda y especie-tiempo-enmienda, no manifestaron un efecto significativo (Apéndice Tabla 1).

El material en estado inicial, contó con porcentajes de 68.85 a 81.19 (Tabla 16), siendo estadísticamente iguales, a excepción del valor más bajo, debido a la heterogeneidad natural de la parcela experimental. Estos valores, de acuerdo con lo reportado por varios autores, son considerados como altos (Flores *et al.*, 1992, Vázquez y Bautista, 1993).

En la etapa Uno, en los tratamientos testigo, el TAb y TE presentaron los valores más altos, siendo el TAb el mayor. Esto pudo deberse a la presencia de arcillas, pero sobre todo a amorfos (Flores *et al.*, 1992). En los tratamientos con higuera, sólo la HE obtuvo un valor significativamente más alto. De los tratamientos con pasto, todos fueron estadísticamente iguales, comportamiento que se repite en la etapa dos (Tabla 16).

A los dos años de experimentación, de los tratamientos testigo, solamente el TF obtuvo un valor de 68.5, el cual fue estadísticamente más bajo. En los tratamientos con higuera, sólo H presentó el valor estadísticamente más bajo (Tabla 16).

En general, a lo largo del experimento (Figura 22), los valores fueron estadísticamente iguales, presentando diferencias significativas, las cuales tienden a disminuir su porcentaje, en comparación con el material en estado inicial en el primer año de experimentación y posteriormente al segundo año de experimentación, a recuperar su valor inicial, a excepción de los tratamientos, TAb, TF, H y HE, los cuales, de la etapa inicial a la primera y segunda etapas, disminuyeron su porcentaje (Tabla 16). En conjunto, los porcentajes fueron adecuados para el crecimiento de las plantas.

Tabla 16. Porcentaje de Saturación de Bases del tepetate, en las diferentes etapas de experimentación

Tratamiento	Etapa Inicial	Etapa Uno	Etapa Dos
TAb	79.32a*	75.17a	75.65a
TF	74.42a	68.00b	68.57b
TE	73.11a	71.65a	76.38a
TEF	71.07a	67.06b	70.24a
H	81.19a	64.47b	69.28b
HF	73.68a	67.94b	73.21a
HE	70.45a	71.62a	78.18a
HEF	78.57a	69.38b	70.05a
P	74.15a	60.12b	81.65a
PF	73.30a	62.41b	76.71a
PE	68.85b	61.60b	76.00a
PEF	80.04a	68.86b	79.09a

\* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente equivalentes (p 0.01)

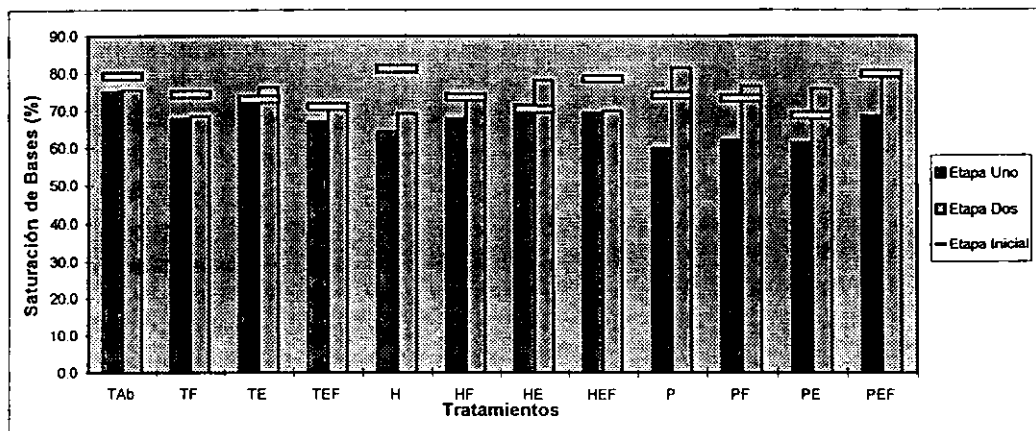


Figura 22. Porcentaje de Saturación de Bases del tepetate, en las tres etapas de experimentación.

## 6. Análisis Global

El estudio de las características químicas del tepetate fragmentado en condiciones de campo es de suma importancia, debido a la magnitud de la actual problemática del territorio mexicano, en el que más del 30 % presenta algún tipo de tepetate. Todo esto con el propósito de fortalecer el conocimiento de las capas volcánicas endurecidas e impulsar el desarrollo de otros estudios enfocados a su habilitación e incorporación al proceso productivo.

Es primordial señalar que con todos los tratamientos, sin importar el tipo de especie vegetal, de abono y/o fertilizante que tuvieron, incrementaron significativamente su porcentaje de materia orgánica, tanto al año como a los dos años de experimentación, llegando a obtener valores cercanos al 2% de materia orgánica, lo que es de gran importancia para los tepetates, ya que el aumento de el contenido de materia orgánica es inversamente proporcional a la dureza del suelo. Esto es el mejor indicador de que el tepetate se está habilitando, pues si existe un contenido mayor de materia orgánica, se mejora la capacidad productiva del tepetate, ya sea bajo el empleo de especies frutícolas o forrajeras (Apéndice Figuras 1, 2 y 3).

Además, el tepetate en todo lo largo del periodo experimental obtuvo los valores de pH óptimos para el establecimiento de cualquier tipo de cultivo, lo cual indica que no existe ningún tipo de impedimento en esta característica química.

En esta investigación la acción de la especie forrajera, conocida como pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth), resultó ser mucho más efectiva que la frutícola, la higuera (*Ficus carica* L.); pero cabe mencionar que ninguna de las dos dio resultados negativos como para ser mencionados. Por lo que se recomienda ampliamente su establecimiento, dependiendo de la producción y/o uso frutícola-pecuario que se desee.

El abono de bovino, debido a su efecto residual, tuvo un mayor efecto benéfico para los requerimientos de las especies, a diferencia del fertilizante químico inorgánico el cual es rápidamente absorbido por las raíces de las plantas, teniendo un resultado eficaz, pero menos

duradero. Además, que tanto ecológica como económicamente, para la zona de estudio es mucho más recomendable el uso del estiércol de bovino, pues es de fácil obtención para los campesinos y no causa daños de contaminación al suelo.

En general, los resultados obtenidos son satisfactorios, pero cabe mencionar que es necesario realizar más proyectos, para estudiar y comprender la modificación de las características químicas, para la habilitación y formación de suelos a partir de un tepetate fragmentado en condiciones de campo, en las diferentes zonas del país, con un distintas especies vegetales, abonos, fertilizantes y otro tipo de enmiendas.

## VIII. CONCLUSIONES

- Bajo el establecimiento de especies vegetales, abono y fertilizante, en un periodo experimental de dos años, los valores del pH del tepetate, se mantuvieron estadísticamente iguales, siendo óptimos para el crecimiento de cualquier tipo de cultivo.
- La materia orgánica del tepetate, bajo el establecimiento de especies vegetales (pasto e higuera), abono de bovino y fertilizante químico inorgánico, tiende a incrementarse significativamente en un periodo de dos años.
- Los tratamientos que obtuvieron los porcentajes más altos de materia orgánica fueron los pastos en sus distintas combinaciones, siendo los más altos de ellos el PEF y el PE.
- El porcentaje de saturación de bases aumentó con los tratamientos con estiércol de bovino, lo que indica el efecto positivo de éste, en el suelo.
- Los tratamientos que tuvieron mayor efecto positivo sobre las características químicas del tepetate, fueron los que poseían estiércol de bovino y la especie forrajera pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth), debido a la mayor descomposición de material vegetal y raíces así como los exudados producidos por las mismas.
- El proceso de incorporación del abono de bovino al tepetate resultó significativamente benéfico en la mayoría de las características químicas.
- El efecto del fertilizante químico inorgánico fue menos efectivo sobre las características químicas del tepetate, a comparación del causado por el estiércol, debido que el fertilizante actúa de forma indirecta.
- El tepetate fragmentado si puede ser habilitado a un proceso productivo frutícola – pecuario, mediante el establecimiento constante y duradero de especies vegetales rústicas y agresivas, más la aplicación de estiércol de bovino.

## IX. LITERATURA CITADA

- Acevedo, S.O.A. 1997. Morfogénesis de suelos con tepetate de un área del Estado de México y su incorporación al proceso productivo. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F., 35-37 p.
- Acevedo, S.O.A. and Flores, R.D. 2000. Genesis of white fragipans of volcanic origin. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 17(2):152-162
- 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 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 309 –317.
- Bathke, G.R., Cassel D.K., Eargrove W.L. and Porter P.M. 1992. Modification of soil properties and root growth response. *Soil Science*154 (4): 316-329.
- Bogdan, A.V. 1977. *Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes)*. Longman, London, England. 475 p.
- Cajuste, L. H. 1977. *Química de suelos con un enfoque agrícola*, Colegio de Postgraduados, Talleres Gráficos de la Nación, Chapingo, México, 278 p.
- Camargo, R.E.O. y Guido, A.L. 1987. Roturación y trituración de tepetates en el Valle del Mezquital, su efecto en la agricultura bajo condiciones de riego in Ruíz, F. *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. Universidad Autónoma de Chapingo. 143-155 p.
- Brady, N. C. and Weil R. R. 1999. *Nature and properties of soils*, Prentice Hall, USA. 863 p.
- Carballo, G. 1980. El cultivo de la higuera, *Fruticultura Mexicana*, Conafrut, Año 2, Tomo: 2. México, D.F. 1-4 p.
- Caroll, H., Christman, S., Johnson A. and Lindeman S. 1997. *Ficus Carica*, Sheaper Interactives, L.C., Floridata (TM), a gardening and natural science web site, en: [http://www.streetside.com/plants/floridata/ref/f/ficus\\_c.htm](http://www.streetside.com/plants/floridata/ref/f/ficus_c.htm) (en internet).
- Domínguez V. A. 1997. *Tratado de fertilización*. Ed. Mundi Prensa, Madrid, España. p 181-185.
- Duchafour, P. 1984. *Edafología: edafogénesis y clasificación*, Madisson, España. 493 p.
- Duke, J. A. 1983. *Handbook of energy crops*. Unpublished, en: [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Chloris\\_qayana.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Chloris_qayana.html) (en internet).



- Etchevers, B.J.D., Pérez M.A. y Navarro, H.G. 1997. Dinámica de la materia orgánica y el N en tepetates habilitados para la producción agrícola, *in* C. Zebrowski, P. Quantín y G. Trujillo (Eds.), III Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. p. 213-225.
- Flores R. D., Alcalá, M. J. R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1991. Los tepetates, *Revista Geografía del instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), México*, 3(4): 37-42.
- Flores R. D., Alcalá, M. J. R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1992. Suelos con fragipan de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo. El caso del Noreste del estado de Morelos, México, UNAM, *Revista del Instituto de Geología*, vol. 10, No. 2 p. 151-163.
- Flores R. D., Alcalá, M. J. R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1997. Duripan in subtropical and temperate subhumid climate of the trans-Mexico volcanic belt, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Volumen 13 Número 2, 228-239 p.
- Fuentes, J. L. 1994. El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Ed. Mundi Prensa, Madrid, 111 p.
- Garcia, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Ed. Indianápolis, México, D.F., 145 p.
- González, V. A. 1996. Morfogénesis de suelos con tepetates de origen volcánico con clima templado subhúmedo en el Noreste del estado de Morelos, Tesis de Maestría en Ciencias (Edafología), Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. 73 p.
- Guerrero, G.M.A. 1993. Suelos agropecuarios del Estado de Morelos, Producción y rendimientos, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM, Cuernavaca Morelos, 317 p.
- Guerrero, E. G., Luna J. L., Caballero, O.E., 1992. Distribución de los tepetates en la República Mexicana, *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 131-137.
- Hernández A., Jiménez J. and Pastor, J. 1993. Systems science and the alternatives to the changes of soil in areas of traditional agriculture, Universidad de Alcalá, Ecología, Spain, *Systems Science*, Edited by F.A. Stowell *et al.*, Plenum Press N.Y. 35-41 p.
- Herrera, R. S. M. 1999. Efecto de especies frutales y abono orgánico en la agregación de un tepetate fracturado durante seis meses en condiciones de invernadero, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 23 p.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, Inc. New York, N.Y. p 41-53.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) . 2000. Anuario estadístico de Morelos, Gobierno del Estado de Morelos, Aguascalientes, México, 426 p.
- Instituto de Cultura de Morelos. 2000. Lugares de interés cultural, histórico y natural por municipios: <http://www.culturamorelos.gob.mx/> (en internet).
- Karimian, N. and Razmi, K. 1990. Influence of perennial plants on chemical properties of arid calcareous soils in Iran. *Soil Science* 150: 717 – 721.
- Klute, A. (Ed.). 1998. *Methods of soil analysis*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wis. No. 9, 1118 p.
- *Manuales para la Producción Agropecuaria*. 1982. Cultivos Forrajeros, Ed. Trillas, México, D.F. 80 p.
- Marañón, G. G. 1994. Caracterización de suelos con tepetate y su relación con la vegetación en el municipio de Tetela del Volcán estado de Morelos, Tesis de Licenciatura en Geología en la Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D.F. 36 p.
- Marquez, A., Zebrowski, C. y Navarro, H. 1992. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. *Terra* 10 ( Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 465-473.
- Mielhich, G. 1992. Formation and properties of tepetate in the central highlands of México, *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 137-144.
- Miller W. R. and Donahue R. L. 1995. *Soils in our environment*, Prentice Hall, USA, p. 140-180.
- Miller W. R. and D. T. Gardiner. 1998. *Soils in our Environment*, Prentice Hall, USA, New Jersey, 735 p.
- Navarro, G.H. y Zebrowski, C. 1992. Análisis agronómico comparativo en tepetate. *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 450-459.
- Nimlos, T.J. 1987. Nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. In Ruiz Figueroa, J.F., *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Nimlos, T.J. y Ortiz, S.C. 1987. Tepetate, the rock mat, *Journal of soil and Water conservation*, Soil Conservation Society of America, Vol. 42. No. 2: 83-86.
- Ortiz, S.M.M. y Anaya, M.G. 1992. Aspectos sociales y económicos relacionados con los tepetates recuperados. *Terra* 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 534-538.
- Pedraza, C.E., Rodríguez, F.C. y Fierros, G.A.M. 1987. Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetates de la zona Tequesquihuac a Coatepec, Edo. de México.

- In:* J.F. Ruiz F. (Ed.) Uso y Manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Nacional Autónoma de Chapingo. Chapingo, México, p 128-140.
- Peña, D.H., Zebrowski C. 1992. Caracterización física y mineralógica de los tepetates en la vertiente Occidental de la Sierra Nevada. Terra 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 156-163.
  - Pérez, O. M.A., Etchevers, B.J., Navarro G. H. y Núñez E. R., 2000. Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates, Agrociencia, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, Vol. 3 No. 2, 115-125.
  - Pimentel, B. 1992. Cómo hacer productivos a los tepetates en México. Terra 10 (Número especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 293-301.
  - Potash and Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos, Querétaro, México, 350 p.
  - Reid, J.B and Goss, M.J. 1981. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. Journal of Soil Science 32: 521-541.
  - Simpson, K. 1986. Abonos y estiércoles, Ed. Acribia, España, p 33-38.
  - Simpson, K. 1991. Fertilizers and manures, John Wiley and Sons, New York, USA, 110-135p.
  - Soil Science Society of America (SSSA). 2001. Glosary of Soil Science Terms, en:  
[http://www.soils.org/cgi-bin/gloss\\_search.cgi?QUERY=cation+exchange+capacity&SOURCE=1](http://www.soils.org/cgi-bin/gloss_search.cgi?QUERY=cation+exchange+capacity&SOURCE=1)
  - SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil taxonomy: SMSS, Technical Monograph, no. 19, Fourth ed. 422 p.
  - SOIL TAXONOMY. 1988. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Rober E. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, USA. 754 p.
  - Sparks, D.L. 1996. Methods of soil analysis, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wis. No. 9, 1390 p.
  - Stallings, J. H. 1982. El suelo su uso y mejoramiento, Ed. Continental, México, D.F. 480 p.
  - Tamhane, R.V., Motiramani, D.P., Bali, P.B. y Donahue, R.L. 1986. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales, Ed. Diana, México, 483 p.
  - Tisdale, S., Nelson, W., Beaton, J. & Halvin, J., 1994, Soil Fertility and Fertilizers, Ed. Macmillan, USA, N.Y., 633 p.
  - Tous, J. and Ferguson L. 1996. Mediterranean fruits. *In:* J. Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA . p. 416-430.

- Trinidad, S. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos, Lombricultura y abonos orgánicos, Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional, Universidad Autónoma de Chapingo, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, 3-16 p.
- Troeh, F. and Thompson L. 1993. Soils and soil fertility. 5<sup>a</sup> ed. Oxford University press. USA. p. 89-147.
- Vázquez, A. y Bautista, A. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos, México, p. 6-16.
- Vázquez, C., Batiz, M., Alcocer S., Gual, D. y Sánchez D. 2000. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para 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 de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. 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 de Maestría en Ciencias (Edafología), Facultad de Ciencias, UNAM. 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. Quantin y G. Trujillo (Eds.). III Simposio Internacional Suelos Volcánicos Endurecidos. Quito, Ecuador. p. 170-177.
- Velázquez, R.A.S. 1998. Formación de agregados estables de un tepetate con especies vegetales perennes, Aptitud productiva de los suelos volcánicos endurecidos(Tepetates), Orstom, Colegio de Posgraduados, Estado. de México, México, 130 p.
- Weller, J. B. and S. Willets. 1977. Farm wastes management, Ed. Crosby Lockwood Staples, London, U.K. p. 36-37.
- Wild, A.1992. Condiciones del suelo para el desarrollo de las plantas según Rusell, Ed. Mundi Prensa, Madrid, España, 1045 p.
- Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. Terra 10 (Número Especial: Suelos Volcánicos Endurecidos): 15-23.

- Zebrowski, C. 1997. Los suelos con cangahua en el Ecuador, Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos, Impresora Polar, Quito, Perú, 509 p.



**Figura 1. Parcela Experimental, a los dos años de experimentación**



Figura 2. Higuera con frutos maduros, en la parcela experimental



Figura 3. Pasto espigado, en la parcela experimental