



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto de especies frutales y abono orgánico en la
agregación de un tepetate fracturado durante seis
meses en condiciones de invernadero

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
BIOLOGA
PRESENTA

Silvia Martha Herrera Rodríguez



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. David Flores Román

MEXICO, D.F.

295-95

2000



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

EFECTOS DE LAS CORTES FRÍAS Y ABONO ORGÁNICO EN LA AGREGACIÓN
DE UN TENDRÓN (continuado durante seis meses en condiciones
de invernadero)

realizado por **Olivia María Herrera Rodríguez**

con número de cuenta **10240310**, pasante de la carrera de **Biología**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario **Dr. David Flores Román**

Propietario **M.C. Gilberto Vela Correa**

Propietario **M.C. Alma G. Velázquez Rodríguez**

Suplente **Dr. Jorge Gama Castro**

Suplente **Ing. Eudoro Hernández Treviño**

Edna María Suárez D.

Consejo Departamental de Biología

Dr. Edna María Suárez D.

A Tolín y Chila con todo mi amor

A Juan
A Héctor
A mis abuelos Ada, Héctor, July y Saúl
A mis tíos y primos
A Vuela y Juan
Con todo mi cariño

AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas quiero agradecer a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización del este trabajo de tesis:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en particular a la Facultad de Ciencias.

Al Instituto de Geología, Departamento de Edafología, Laboratorio de Fertilidad de Suelos, por disponer de sus instalaciones e infraestructura.

A PROBETEL por la beca otorgada para la realización del trabajo

A la CORENA por la donación de los frutales.

Al Dr. David Flores Román por la dirección de este trabajo.

A los miembros del H. Jurado:

Dr. David Flores Román

Dr. Jorge Gama Castro

M en C. Gilberto Vela Correa

M en C. Alma S. Velázquez Rodríguez

Ing. Teodoro Hernández Treviño

Por sus comentarios y excelentes aportaciones.

En general a los miembros del jurado por su apoyo y amistad.

Al personal administrativo de Instituto de Geología, en especial al Ing. Rodolfo del Arenal Capetillo, al Dr. Víctor M. Malpica Cruz por su apoyo.

Al Dr. Otilio Acevedo Sandoval, M.en C. Lucy Mora Palomino por su amistad y consejos.

Al M.en C. Margarita Reyes Salas por su colaboración en el Estudio Petrográfico.

Al personal de computo del Instituto de Geofísica en especial Miguel Angel García y Luis Antonio Ramírez, así como al personal de computo del Instituto de Geología en especial a Rosario Flores Ramos y Francisco Montañón.

Al Biólogo Humberto Núñez Cardona por su amistad, tiempo y conocimientos.

A todo el personal académico y administrativo del Instituto y del Departamento de Edafología.

Al Personal de Computo Académico de la Escuela Nacional Preparatoria en especial a Claudio Herrera Alberú por su colaboración.

A Marco S. Bishop Herrera por su tiempo y equipo de computo.

A Juan Rovalo por su tiempo, amor y paciencia.

A mis compañeros y amigos: Héctor Herrera Rodríguez, Paloma Neuman Gómez, José Miguel Pickerin López, Nancy Cabanillas Terán, Francisco Botello, Ma. Fernanda Higareda, Esteban Quijano, Charly, Jerry, Mariano, Pável y todos con quienes compartí momentos inolvidables en la Facultad de Ciencias.

A todos ellos, gracias.

INDICE

	Paginas
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	2
3. REVISION DE LITERATURA	5
3.1 TEPETATES	5
3.1.1 Clasificación	5
3.1.2 Distribución en México	8
3.2 AGREGACION	10
3.2.1 Estructura	10
3.2.2 Agregados	12
3.2.3 Características	12
3.2.4 Formación	15
3.2.5 Estudios sobre agregación en tepetates	17
3.3 ABONOS ORGANICOS	19
3.4 ESPECIES VEGETALES	21
3.4.1 Tejocote	22
3.4.2 Higuera	23
3.4.3 Olivo	24
3.4.4 Membrillo	25
3.4.5 Durazno	25
4. OBJETIVOS	27
4.1 General	27
4.2 Especificos	27
5. HIPOTESIS	27
6. SITIO DE MUESTREO	28
7. METODOLOGIA	30
7.1 Gabinete	30
7.2 Campo	31
7.3 Invernadero	33
7.4 Laboratorio	37
7.5 Gabinete	38

8. RESULTADOS	39
8.1 Cuantificación de agregados en seco	39
8.2 Cuantificación de estabilidad de agregados	40
8.3 Propiedades físicas	42
8.4 Propiedades químicas	46
9. DISCUSION	51
10. CONCLUSION	59
11. BIBLIOGRAFIA	60
ANEXO I	66
ANEXO II	69

1. RESUMEN

El trabajo tuvo como finalidad conocer el comportamiento de especies frutales y abono de ovino en un tepetate fracturado, bajo condiciones de invernadero, en un período de seis meses. En el cual se observaron diferentes procesos: los frutales se lograron establecer en el tepetate por un tiempo de 6 meses, mostrando deficiencias de ciertos nutrimentos, se cuantificó una disgregación en todos los tratamientos, en los cuales se evaluó una disminución en los porcentajes de mayor tamaño con respecto al Testigo sin abono. Procesos de microagregación se hicieron evidentes en los tratamientos correspondientes al Testigo con abono, Membrillo con y sin abono, Higuera con abono, Olivo con y sin abono, Tejocote sin abono y Durazno con y sin abono.

En cuanto a los cambios físicos y químicos se cuantificó una disminución en la densidad aparente en el tratamiento de Olivo con abono, así como un aumento de materia orgánica en los tratamientos en presencia de abono. Se evaluó una disminución de pH por efecto del abono orgánico. Por otro lado, la cantidad de sodio en el tepetate aumentó en presencia de especies frutales con respecto al testigo sin abono.

Por lo tanto, se establece que el tepetate presentó disgregación entre partículas por efecto de los tratamientos, lo cual se considera un proceso inicial en la formación de agregados. Por otro lado, se cuantificaron procesos de microagregación en ciertos tratamientos, los cuales se consideran los primeros cambios en la formación de agregados. En lo que respecta a la disminución de la densidad aparente por parte del olivo en el tratamiento con abono se puede establecer que esta fue la especie que presentó mayores beneficios en el proceso de agregación; sin embargo, cabe destacar que las especies frutales presentaron tendencias que pudieron favorecer la micro y macroagregación del tepetate en un tiempo mayor de investigación.

2. INTRODUCCION

Los tepetates son materiales que muestran ciertas características, las cuales impiden el desarrollo de especies vegetales y, por lo tanto el sustento y crecimiento de éstas. Las características que denotan dificultades son la presencia de una estructura masiva, lo que confiere una dureza alta que causa que las raíces no pueden penetrar el material y por otro lado, la falta de materia orgánica que impide que las especies vegetales se establezcan. Valores bajos o nulos de nitrógeno y fósforo, producto de la actividad microbiana, se encuentran restringidos por las condiciones anteriores.

Los tepetates se encuentran representados principalmente en la zona del Eje Neovolcánico de México, distribuyéndose en diferentes profundidades del perfil del suelo. Las características en estos materiales originan que los terrenos en presencia de tepetate sean considerados difíciles de manejar, así como problemáticos para labores de reforestación o de cultivo ya que se catalogan como terrenos erosionados.

Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado estudios alrededor de la génesis, caracterización y rehabilitación de tepetates tanto en México como en otros países con esta misma problemática. En lo que se refiere a la utilización de estos materiales para labores de reforestación y cultivo se han seleccionado especies vegetales que resistan las condiciones ambientales y del tepetate así como también utilizar especies que promuevan la permanencia de especies nativas y representativas del lugar.

Esta investigación tuvo como finalidad conocer la capacidad de diferentes especies frutales y del abono de ovino en la formación de agregados en un tepetate fracturado durante seis meses en condiciones de invernadero.

En lo que se refiere a estudios sobre formación de agregados en tepetates, se han utilizado diferentes especies vegetales: forestales, gramíneas y algunos frutales, en este trabajo se seleccionaron 5 especies de frutales: *Prunus persica* –durazno -, *Cydonia vulgaris* – membrillo -, *Crataegus mexicana* –tejocote-, *Ficus carica* – higuera -, y *Olea europea* – olivo-. Estos frutales se encuentran representados en diferentes zonas de la Ciudad de México y destacan por presentarse en sitios perturbados y establecerse en suelos pobres. Por otro lado, las especies seleccionadas se encuentran reproduciéndose de manera efectiva en el Vivero Nezahualcoyotl de la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) en la Ciudad de México.

El tepetate fue colectado en el Cerro Vicente Guerrero, de la Sierra de Guadalupe, en la Ciudad de México. La zona presenta sitios perturbados en los cuales se destaca vegetación secundaria y en algunas partes zonas con altos índices de erosión. El tepetate colectado destacó por presentarse en diversos puntos del Cerro Vicente Guerrero, se tomaron alrededor de 700 kg de tepetate. El tepetate se seco y se fracturó en 3 tamaños, distribuyéndose de igual manera en todos los tratamientos. El experimento se desarrollo en el Invernadero del Instituto de Geología, al cabo de seis meses se cosecharon los frutales para comenzar con la fase de laboratorio. El trabajo de laboratorio se realizó en el

Laboratorio de Fertilidad de Suelos en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología.

El objetivo principal del trabajo fue cuantificar en porcentajes los cambios que tepetate presentó por efecto de los tratamientos en lo que se refiere a agregación. La agregación se considera el conjunto de cambios físicos y químicos que dan como resultado que las partículas orgánicas e inorgánicas se mantengan unidas confiriéndole al tepetate cualidades que favorecen la permanencia y el establecimiento de especies vegetales, así como también el desarrollo de macro y microfauna originando las condiciones para que comience y se establezca una sucesión biológica natural que en el caso de zonas con presencia de tepetate esta sucesión no se desarrolla con tanta diversidad.

Por lo tanto, para que se logre esta dinámica biológica primeramente es necesario crear las condiciones para que el proceso de agregación se origine, es por ello que el tepetate se fracturó y se establecieron los tratamientos en condiciones de invernadero, ya que en este medio se logra un mejor manejo del trabajo.

Los tratamientos se diferenciaron por presentar 5 frutales y abono de ovino en la mitad de los tratamientos, por lo tanto se evaluó el efecto del frutal con el abono y el frutal sin abono en las cinco especies diferentes, en el tepetate durante 6 meses.

Los resultados mostraron que las especies de frutales concluyeron el tiempo de investigación favorablemente, es decir no fue necesario realizar trasplantes, por lo que se pueden considerar especies idóneas para trabajos con tepetate en periodos cortos.

Se evaluaron procesos de disgregación de partículas en fragmentos mayores, por lo que los tratamientos promueven esta disgregación. Por otro lado, se evaluó un aumento en el porcentaje de partículas de menor tamaño en la mayoría de los tratamientos, por lo que se presentó una microagregación.

La microagregación se considera un proceso inicial en la agregación de un material, ya que la unión entre partículas minerales y orgánicas se origina en fragmentos pequeños de ambos componentes, de este modo continúa el proceso y se forman agregados estables que se consideran una unidad. El efecto de disgregación que se presentó en los tratamientos, promueve el aumento de pequeñas partículas que pudieran interactuar con partículas orgánicas y así comenzar el proceso de agregación. Es por lo que los resultados obtenidos muestran que se cuantificó un proceso de agregación en etapas iniciales, el cual en un tiempo mayor probablemente originen procesos secundarios y de estabilidad en los agregados.

Por otro lado, se evaluaron cambios físicos y químicos por efecto de los tratamientos en el tepetate, estos cambios pueden relacionarse al proceso de agregación, por lo que se presentó una disminución de densidad aparente en el tratamiento de olivo con abono. Se cuantificó una disminución en los valores de pH por efecto del abono, así como también un aumento en los porcentajes de materia orgánica por efecto del abono. Se

valoró un aumento de Na en presencia de especies frutales. Estos cambios se relacionan en este trabajo con el proceso de agregación y a las condiciones del experimento.

Por último, se realizó un estudio petrográfico y mineralógico del tepetate utilizado, Se describió el material a nivel de microscopio petrográfico identificando los principales minerales que constituyen al material. Con microscopía de barrido se evaluaron los principales procesos de formación, así como su grado de intemperismo. Se realizó un análisis de componentes químicos en el material para conocer la proporción de los mismos. Este breve estudio tuvo como finalidad conocer la naturaleza del material y sus principales características.

Se recopiló información acerca de las generalidades y particularidades de los tepetates, así como las principales características de la agregación y sus procesos, también, se recopiló información acerca de otros trabajos de agregación realizados en tepetates, así como información relacionada al abono de ovino y las especies frutales utilizadas.

Se realizó una breve descripción del área de estudio. La metodología se desarrolló en cinco etapas: gabinete, campo, invernadero, laboratorio y la última etapa en donde se retoma el trabajo de gabinete. Los resultados y discusiones se presentan de acuerdo a los objetivos específicos del trabajo, así como las conclusiones.

Por último, en el anexo I se muestran los datos referentes al análisis estadístico que se llevo a cabo para conocer los cambios en los diferentes tratamientos. En el anexo II se muestra una breve descripción petrográfica, mineralógica sobre el material utilizado, así como la interpretación de dichos resultados.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 TEPETATES

Los tepetates son materiales endurecidos de origen volcánico, cuyas características suelen ser propias dependiendo de la composición (Zebrowski, 1992). El término tepetate está ampliamente difundido en México, y es usado para nombrar a diferentes tipos de materiales, ya sea geológicos o sedimentarios o suelos que presentan en sus horizontes capas endurecidas.

De acuerdo con Quantin (1992) y Zebrowski *et al.* (1992) los tepetates son capas o estructuras endurecidas o compactadas, que presentan procesos edafológicos diversos, son de origen volcánico y se caracterizan por encontrarse, en suelos volcánicos o sedimentarios. Independientemente de su composición y origen los tepetates se suelen representar en cualquiera de los horizontes del perfil del suelo, ya sea aflorados, a poca profundidad o formando parte del material parental, a estos materiales se le suele denominar técnicamente como: duripanes o fragipanes. Se encuentran en regiones en las que actualmente el clima presenta una temporada seca bien marcada. (FAO/UNESCO, 1994; Dubroeuq, 1992; Zebrowski, 1992; Flores *et al.*, 1991; Soil Taxonomy, 1990).

Los tepetates, presentan condiciones físicas, químicas y morfológicas características. Entre los aspectos físicos, destacan la presencia de una estructura masiva (Peña *et al.*, 1992) o lo que algunos autores llaman ausencia de estructura. Es decir, es un material que al encontrarse consolidado desde el momento de su depósito o endurecido edáficamente por cementación de sílice, las partículas minerales y/o orgánicas se encuentran unidas y muy cercanas entre sí (Soil Taxonomy, 1988), otra característica relacionada a la estructura masiva de los tepetates es una dureza alta, que oscila entre 150 y 800 kg/cm² de resistencia a compresión simple (Zebrowski, 1992). Estos dos aspectos traen como consecuencia que el material presente un espacio poroso muy reducido, o casi nulo.

De acuerdo con el peso específico de los minerales, Peña *et al.* (1992) reportan valores promedio de densidad real en donde los tepetates oscilan entre 2.4 y 2.8 g/cm³, por otro lado, Arias (1992) reporta algunos procesos determinantes como: retención del agua y mala infiltración, por otro lado también se hace mención de la incapacidad del desarrollo de raíces por parte de especies vegetales (Peña *et al.* 1992). Sin embargo, los valores reportados en la mayoría de los tepetates, presentan texturas apropiadas para el establecimiento de especies vegetales, estos valores oscilan entre el 15 y el 50% de arcilla y de acuerdo con los valores de limo fino más arcilla estos presentan valores de 35 al 70%.

Los parámetros químicos característicos en los tepetates son los siguientes: carecen de cantidades apropiadas de materia orgánica (Etchevers, 1996) esto origina que la presencia sea mínima o muchas veces se considera una ausencia total de bacterias y hongos que promueven la fijación de fósforo y nitrógeno en estos materiales. Zebrowski *et al.* (1997) reporta los valores obtenidos en diferentes muestras de tepetate y establece

que el nitrógeno presenta valores menores al 0.05% y el fósforo asimilable por el método de Olsen presenta valores menores a 3 ppm. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico Zebrowski et al. (1997) reportan valores mayores a los 15 meq/100g de suelo y un alto contenido de bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+). Estos parámetros químicos favorecen según Navarro et al. (1996) y Guerra de la Cruz et al. (1992) la adecuación del tepetate para usos forestales o agrícolas.

De acuerdo con las características distintivas de los tepetates, cabe señalar que estas varían mucho, dependiendo del tipo y grado de cementación. Sin embargo, es necesario realizar análisis específicos como estudios petrográficos, relaciones Al-Si, y análisis químicos mineralógicos, ya que con esto se puede observar y caracterizar la microestructura del material, en la que se destaca la cementación por sílice gel, así como la compactación del material, y el grado de cementación.

El grado de cementación resulta hasta ahora un problema a resolver, ya que algunos de los materiales geológicos presentan la mayoría de las características físicas y químicas de los tepetates, sin embargo, carecen de procesos edafológicos que en la mayoría de los casos solamente se pueden reconocer mediante estudios morfológicos y químicos específicos. Una vez que se conocen estas características es más sencillo determinar el grado de intemperismo o alteración del material y así tener las herramientas necesarias para caracterizarlos.

Hasta ahora se conoce que el origen de la compactación o endurecimiento del tepetate es de tipo edafológico o bien, se puede presentar una compactación o endurecimiento posterior en un material litificado (Flores et al. 1996; Quantin, 1992; Zebrowski, 1992; Flores et al. 1991).

En la formación del tepetate principalmente intervienen dos factores, el geológico y el edafológico, estos procesos pueden combinarse entre sí dependiendo de las condiciones. Por ejemplo puede presentarse el factor geológico, es decir, la formación de tobas y posteriormente intervenir factores edafológicos que originen un tepetate. Por otro lado, se han estudiado formaciones únicamente edafológicas en las cuales en el perfil del suelo y mediante factores edáficos se origina una capa endurecida en cualquiera de los horizontes del perfil. Dubroeuq. (1992) menciona que algunas de las formaciones de tepetates de la región de Xalapa, Veracruz se originaron en suelos con gran cantidad de arcilla, que provienen de la alteración ferralítica de material basáltico.

En el caso de que se presenten ambos procesos: el geológico y el pedológico; el material de origen se encuentra, desde el momento de su depósito o por procesos diagenéticos, consolidado, dando lugar a tobas, lahares, brechas, cineritas o loess. Los cuales, por efectos de intemperismo edáfico reorganizan su composición manteniendo una estructura predominantemente masiva común en estos materiales. Zebrowski et al. (1997), explican que existe un endurecimiento reforzado por procesos pedológicos como: acumulación de arcilla, hierro o de sílice y/o caliza. La consolidación en estos procesos, se presenta desde el momento de su depósito y posteriormente intervienen procesos edafológicos que refuerzan y endurecen el material. Dubroeuq et al. (1989)

reportan la formación de tepetates cuando esta es originada por ambos procesos; la alteración edáfica posterior al depósito geológico, en este caso, el resultado es un tepetate con una dureza menor al horizonte inicialmente consolidado. Nimlos *et al* (1990) establecen, que la consolidación de los materiales volcánicos distribuidos en la zona del Pacífico, también presenta una cementación edafológica con sílice iluvial y, en algunas ocasiones, de carbonatos.

La formación edafológica de los tepetates resulta hasta la fecha uno de los principales temas de estudio, ya que en los procesos edáficos intervienen varios factores entre ellos: la composición del material parental, interacción de las condiciones químicas y físicas inherentes al material, factores climáticos distintivos de la zona, la topografía específica así como la presencia de factores biológicos.

Debido a que es un proceso de intemperismo dinámico y sumamente complejo, resulta difícil generalizar los procesos que se llevan a cabo para la formación de los tepetates. Es por eso que en este trabajo sólo se mencionan algunos procesos que resultan de cierta manera generales para cada material.

Algunos procesos son: los establecidos por Thiry (1992) quien indica mecanismos de iluviación que dan como resultado silicretos de estructura columnar; nodúlos con cubierta granular con alternancia de períodos de sequía y humedad bien determinados, típicos en procesos de cementación edafológicos.

Luzio *et al* (1992) observaron iluviación de hierro, manganeso y materia orgánica.

El efecto del pH en la lixiviación de bases es reportado por Besoain *et al* (1992) para suelos ácido de Ñadis en Chile

Hessmann (1992) reporta la presencia de neoformación de arcillas, originando una fuerte consolidación de partículas en los sedimentos formando agregados.

Malagón *et al* (1992) establecen la formación de cutanes de arcilla, hierro, magnesio y material orgánico, así como glóbulos y nódulos en suelos de fierrillo en Chile.

La acumulación de calcio que se da en horizontes petrocálcicos puede deberse a procesos biológicos (Quantin, 1997).

3.1.1 Clasificación

Debido a que el tepetate presenta una amplia distribución, diferentes culturas han incorporado el uso y el manejo de estos materiales a la producción agrícola o la construcción de viviendas. Por lo tanto, se han encontrado diferentes denominaciones, estableciéndose nombres distintivos a nivel regional.

En México principalmente en la región del Eje Neovolcánico se les denomina tepetate. Tepetatl nombre de origen nahuatl, compuesto por dos raíces: tetl que significa piedra y petlatl que significa petate. Tepetate (petate de piedra) es el nombre como se conoce desde hace cientos de años (Flores *et al.*, 1991). En la región Otomí se le conoce como Xido. (Nimlos, 1987). Sheri se le denomina en suelos Tarascos (Nimlos, 1987).

En Centroamérica, principalmente en Nicaragua y en algunas zonas de El Salvador, Honduras y probablemente en Costa Rica se les denomina Talpetate. Con la denominación técnica utilizada en la Soil Taxonomy se conoce con el nombre de Duripan en Colombia. Hardpán, en el sur de Colombia y en Perú. Cancagua se denomina en Ecuador y Colombia. Al sur del continente, en Chile se les conoce como Cancagua, Moromoro, Tasca y Nadis (Zebrowski. 1992).

Las clasificaciones que se establecen para estos materiales son muy diversas, se presentan tanto descripciones prácticas como clasificaciones basadas en características químicas predominantes y específicas.

Rojas *et al.* (1985) establecen que desde la época prehispánica el tepetate no sólo se encuentra aflorado, sino que también puede presentarse en estratos superiores. Tal es el caso de los glifos representados en el Códice Vergara, el cual describe el amplio conocimiento que en ese tiempo se tenía del origen del material y de la presencia de éste, a diferentes profundidades del suelo. Por su parte, Williams (1992) analizando diferentes fuentes bibliográficas prehispánicas y coloniales, destaca la presencia de taxones o agrupamientos en los cuales se clasifica a los tepetates de acuerdo con la textura, color y presencia en el perfil.

Los campesinos mexicanos los diferencian de acuerdo a su color, ya que pueden ser blancos, grises, amarillos, rojos o combinaciones de colores (Nilmos, 1989); ellos indican que los tepetates son costras que pueden ser blandas o muy duras y que se encuentran afloradas o debajo de la capa de suelo, pero si la costra aflora es difícil poder cultivar. Cabe señalar que los campesinos no realizan distinciones acerca del agente cementante, por lo que es común que denominen a un material endurecido por carbonato de calcio como tepetate.

Actualmente la FAO y Soil Taxonomy realizan descripciones detalladas de estos materiales, por lo que, el término tepetate es utilizado para designar materiales endurecidos por sílice y/o compactados, por factores edáficos. Ambas claves taxonómicas designan a los tepetates como duripanes o fragipanes (FAO/UNESCO. 1994 y Soil Taxonomy. 1990).

3.1.2 Distribución en México

Algunos autores consideran que México presenta un inventario exhaustivo sobre la distribución de los tepetates (Zebrowski, 1992). Zebrowski (1992) y Guerrero *et al.* (1992) indican que los materiales endurecidos cubren 30,000 km² y 140,000 km² respectivamente de la superficie del país. Eliseo *et al.* (1992) realizaron estudios sobre la extensión y el porcentaje de las superficies en donde los principales tipos de capas endurecidas se distribuyen en el país y establecen, que en total el 11.63% del territorio está cubierto por estos materiales indicando que el 9.39% corresponden a los petrocálcicos, el 1.90% a los duripanes y por último el 0.35% a los petrogipsicos.

Flores et al (1991) y Guerrero et al (1992) establecen que en la zona norte del país, en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango se encuentran representados los materiales endurecidos por carbonatos (petrocálcicos). Los materiales endurecidos por yeso (petrogypsicos) se encuentran en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí dentro de la Sierra Madre Oriental.

Los tepetates ya sea endurecidos por sílice (duripanes) y compactación (fragipanes) se presentan en la zona del Eje Neovolcánico, Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro y Jalisco, así como en algunos estados como Aguascalientes y San Luis Potosí. (Guerrero et al. 1992; Flores et al 1991; Nilmos, 1989). Por lo que respecta a los materiales endurecidos por óxidos e hidróxidos de hierro, estos encuentran en la zona del Sureste, en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche. (Flores septiembre 1998, comunicación personal; Dubroucq, 1992).

3.2 AGREGACIÓN

La agregación se define como la distribución de tamaños, la cantidad y la estabilidad de los agregados que se encuentran constituyendo la estructura de un suelo (Baver *et al.* 1980). La agregación es la cualidad que presenta el material inorgánico y orgánico de conformarse en una unidad (Greenland, 1994; Primavesi, 1980).

Definiciones más específicas resultan de Soil Taxonomy (1988) y Black *et al.* (1965), cuando se refieren a un agregado y establecen que: peds o agregados son el conjunto o agrupación de dos o más partículas primarias que se encuentran unidas cohesivamente una con otra, con más fuerza que las partículas de alrededor, conformando la estructura de un suelo.

La agregación da como resultado un suelo friable, que presenta un ensamblaje entre partículas y da lugar a la formación de poros, resultando una agregación, que permite el libre movimiento de agua y aire (Primavesi, 1980).

Al tipo y grado de agregación se le denomina estructura, algunos de los agentes que intervienen en la formación de agregados son: partículas de arcillas así como limos y arenas, humus, sustancias cementantes, ya sea orgánicas o inorgánicas, mesofauna y el efecto mecánico y químico de las raíces. Por otro lado, procesos de expansión y contracción de arcillas, congelación y deshielo del suelo en zonas frías, el efecto a nivel químico de los cationes intercambiables, así como las labores de labranza juegan un papel importante (Fitz *et al.* 1982).

3.2.1 Estructura

Los tepetates y capas cementadas por carbonatos, sulfatos y/u óxidos se consideran materiales con una estructura masiva, es decir, son materiales fuertemente empacados en largos bloques cohesivos (Hillel, 1982), también se le denomina como estructura en bloques (Soil Taxonomy, 1988).

En suelos con estructura no masiva, es común caracterizar a las subestructuras, pero cuando se estudian las características físicas de la estructura masiva de los tepetates, es necesario depender del grado de alteración del material para caracterizar a las subestructuras (Peña *et al.* 1992). Al referirse a la estructura del suelo, se hace relación a un concepto cualitativo más que a un valor cuantitativo, es decir, se describe la forma o arreglo, el tamaño y la durabilidad de los agregados. La estructura, considera un sistema que mantiene un número ilimitado de componentes, variando la proporción y organización (Soil Taxonomy, 1988; Baver *et al.*, 1980). Oades (1992), establece que la estructura es un sistema dinámico que suele cambiar por el contenido de agua y otros agentes involucrados.

La estructura en los suelos, implica un arreglo de partículas primarias (fracciones de arena, limo y arcilla) en agrupaciones secundarias (agregados o peds, fragmentos, terrones y concreciones) que establecen una dinámica entre sí y por lo tanto, son susceptibles al cambio a través del tiempo (Soil Taxonomy, 1988; Hillel, 1982; Baver et al., 1980). Existen tres factores físicos que determinan la estructura del suelo y como consecuencia influyen en la formación de agregados.

- La textura, que esta representada por la proporción de arena, limo y arcilla.
- La densidad real, que se define como la masa en peso de la fase sólida de un suelo por unidad de volumen (Reyes, 1996).
- La densidad aparente, que resulta del peso de la fase sólida en estado natural (Reyes, 1996).

De acuerdo con estudios realizados en capas endurecidas y en particular, para tepetates, se han reportado valores derivados de los factores físicos que determinan la estructura. En la mayoría de los tepetates, Zebrowski et al. (1997) reportan valores porcentuales partículas primarias, en donde destaca la proporción del 15 al 50% de arcilla y del 35 a 70% de arcilla más limo fino. En cuanto a la densidad real de los tepetates, éstos presentan valores altos. En la zona del Eje Neovolcánico se reportan valores de 1.7 g/cm^3 (Nilmos et al. 1987). En Sierra Nevada (Méx) los valores son 2.35 g/cm^3 en promedio. (Peña et al. 1992).

Según Zebrowski et al., (1992) el transporte de materiales por agua, necesarios para la formación de una capa endurecida, da como consecuencia valores altos en los resultados de densidad aparente. Peña et al., (1992) indican que los valores reportados para la zona de la Sierra Nevada en el Estado de México oscilan entre 1.16 a 1.55 g/cm^3 .

De acuerdo con las características anteriores, la presencia de una estructura masiva, caracteriza y representa diferentes cualidades. En particular, para los tepetates, este tipo de estructura da como resultado:

- Una retención y transminación lenta de fluidos.
- Baja infiltración y aeración deficientes.
- Baja porosidad, la cantidad de macroporos disminuye y aumenta el número de microporos. Aún aumentando el número de microporos, la porosidad total resulta mínima.
- Ausencia de agregación (Nadler, 1993; Dinel, 1992; Hillel, 1982).

Para manejar y rehabilitar suelos con presencia de capas endurecidas, es necesario propiciar las condiciones adecuadas. Primeramente, es fundamental generar una estructura diferente a la masiva, por lo que se necesita fracturar el material (Pimentel, 1992; Arias, 1992).

Posteriormente, es esencial mantener estos fragmentos, es decir, evitando nuevamente el endurecimiento, para ello, se requiere de especies vegetales que se adecuen a las condiciones del material endurecido, ejerciendo cambios físicos como disgregación, por efecto mecánico de las raíces, así como también, promover cambios químicos como microagregación por efecto de los exudados y por último proveer de abono y/o fertilizantes para asegurar la permanencia y favorecer las condiciones para la formación agregados.

3.2.2 Agregados

Los agregados son considerados como elementos dinámicos, formadores de una estructura edáfica temporal (Hillel, 1982). Se presentan en los primeros 20 cm de suelo o más (Primavesi, 1980). Los agregados representan el producto final de una agregación química y física (Skidmore *et al* 1992), y son los encargados de dar las características físicas óptimas para el desarrollo de especies vegetales (Baver *et al* 1980).

3.2.3 Características

Los agregados, por la presencia de macroporos, permiten la rápida infiltración de agua, manteniéndose húmedos en ciclos de secado severos o en condiciones climáticas extremas. Dadas las condiciones morfológicas de los agregados, éstos almacenan agua y debido al efecto de capilaridad, es utilizada en la adsorción de las raíces. La formación agregados propician las condiciones aerobias apropiadas para el establecimiento de microorganismos y raíces de plantas.

Las particularidades de los agregados promueven la estabilidad y evitan considerablemente los efectos de erosión que se presentan por lluvias excesivas, fuertes vientos o por períodos de sequía serios (Nadler *et al.*, 1993; DeBoadt *et al.*, 1990; Hillel, 1982; Primavesi.1980; Lal *et al.* 1979).

Los agregados se han clasificado en los últimos años, dependiendo de las características del estudio. Los estudios físicos, químicos y biológicos apoyan, amplían y relacionan características afines, sin embargo, suelen presentarse tres enfoques principales: 1) tamaño y forma de los agregados. 2) estabilidad de agregados y 3) características de los poros que constituyen al agregado.

1) Tamaño y forma

El tamaño de los agregados representa una característica física determinante para la dinámica del suelo, ya que dependiendo del tamaño se establecen otras características, como susceptibilidad a erosionarse y estabilidad, entre otros (Black *et al.*, 1965). Primavesi (1980), indica que el tamaño de los agregados oscila de 0.5 a 5mm; caracterizados por presentar bordes redondeados, a diferencia de los terrones inorgánicos que presentan ángulos agudos en sus terminaciones.

De manera general, Tisdall (1994) designa tamaños y establece que los agregados menores de 250 micras, constituyen los microagregados. Los macroagregados presentan

diámetros mayores de 250 micras. Tisdall et al., (1982) clasifican los tamaños de agregación en función del agente cementante, en este caso, orgánico. Ellos establecen un modelo de 4 estadios de agregación, en el cual presentan tamaños de agregados menores de 0.2 micras y de 0.02 a 2 micras, 2 a 20 micras, 20-250 micras hasta 2 milímetros. Oades (1993) por su parte, establece que el tamaño de algunos agregados está determinado por el organismo responsable de la cementación de las partículas. Por un lado, se encuentran los desechos de las lombrices de tierra que forman agregados de tamaño de 1 a 10 mm y por otro lado, se encuentran los agregados menores de 1 mm que se originan por desechos de microfauna, como por ejemplo, microartropodos y colonias de bacterias.

Greenland et al., (citado por De Boadt et al., 1990) consideran, catalogar a estas estructuras en macro y microagregados. El tamaño de los microagregados determina un rango de 5-500 micras y para los macroagregados rangos de 500 a más micras.

2) Estabilidad

Oades (1992), define la estabilidad de agregados como: el arreglo y durabilidad de partículas y poros por efecto de materiales orgánicos e inorgánicos. Los materiales inorgánicos involucrados en estos procesos dependen de la mineralogía de los suelos, sin embargo óxidos de hierro y aluminio promueven la cementación. En otros suelos, como en los arenosos y limosos, la biota juega un papel principal. Pimentel (1992) establece que la presencia de materia orgánica mantiene las condiciones adecuadas para la estabilización de agregados.

Los agregados estables, dependiendo de las características y del tipo de cementación, mantienen cualidades representativas de durabilidad, aún en presencia de factores abióticos como el viento o el agua (Singer et al., 1992). Tisdall (1992) indica las diferencias entre agregados estables y los que al contacto con el agua se desprenden en pequeñas subunidades. Los agregados que permanecen aún en presencia de agua muestran tamaños que oscilan entre 1 y 10 mm de diámetro. Por otro lado, explica por que algunos de los agregados no resisten las condiciones de humedad y se desmoronan, una de las razones es la incapacidad de mantener constante la presión que ejerce el aire atrapado en los poros y por otro lado, la carencia de soportar fuerzas de engrosamiento en el agregado.

Oades (1993) y Primavesi (1980), atribuyen a la presencia de materia orgánica la estabilidad de los agregados y destacan la presencia de colonias de bacterias, hifas de hongos, filamentos de algas, raíces y fauna, tales como lombrices, para promover la estabilidad y la prolongación temporal de los agregados. Esta cualidad se representa por el efecto del recubrimiento de poros que les da resistencia y estabilidad anulando fuerzas destructivas en el material.

Sin embargo, establecen que el beneficio que pudiera tener el efecto de la materia orgánica en la formación y estabilidad de los agregados, es el resultado de la descomposición de ésta, por lo tanto, los beneficios son consecuencia de los productos intermedios de la descomposición de la materia orgánica causada por la presencia de bacterias aerobias en el suelo.

El tamaño de los agregados suele considerarse un parámetro para evaluar la estabilidad. Tisdall *et al.*, (1982) hacen notar que los agregados estables presentan tamaños que oscilan de 1 a 10 mm de diámetro. Por su parte, Oades (1992) destaca la importancia del tamaño de la biota del suelo involucrada en el proceso y establece diferencias en el aporte y tipo de cementantes orgánicos entre los microorganismos y materiales como polímeros y los excrementos de artrópodos, plantas y mamíferos.

Por último, Oades (1992) enumera 3 requerimientos necesarios para la estabilización de los agregados. El primero lo atribuye a productores primarios, como fuente de energía indispensable para la producción de carbono en el suelo. El segundo factor es la estabilización estructural, que se refiere a la forma y distribución de los productos fotosintéticos en el suelo como, raíces o finas raicillas o exudados. El tercer factor es el clima, las buenas condiciones en el suelo para la biota.

3) Porosidad

Una de las cualidades en las que se diferencia un agregado de cualquier estructura del suelo, es la presencia de una serie de canales o estructuras vacías, llamadas poros, que componen gran parte de la forma y establecen procesos dinámicos en el suelo. Los poros en los agregados adquieren especial importancia por el hecho de mantener una dinámica entre los elementos sólidos, líquidos, coloides y gases (Oades, 1993; Primavesi, 1982; Tisdall, 1980; Fitz, 1980).

Bussaard (1993) establece que los agregados son el resultado de la actividad biológica que se desarrolla en el suelo, diferencia a la estructura porosa del agregado en tamaños y destaca que el sistema de macroporos es formado por el efecto de las raíces y de los animales, mientras que, la formación de microporos está regulada por microorganismos que transforman sustancias. Ambos tipos de poros determinan las propiedades del transporte de agua, solutos y sustancias gaseosas. También distingue la importancia del transporte de sustancias del suelo hacia la atmósfera, regulada por el efecto de los macroporos. Por otro lado, establece que los microporos son importantes en el transporte de sustancias entre los poros largos del suelo hacia los agregados.

Tisdall *et al.*, (1980) destacan las cualidades que el sistema de poros debe de presentar para que se lleve a cabo una buena y rápida infiltración y drenaje. Por un lado establecen que el diámetro de poros de 2-30 micras son los apropiados para retener agua, mientras que los poros entre agregados, deben de ser largos para realizar una rápida infiltración y drenaje.

A nivel estructural, Primavesi (1980) establece que la gran cantidad de poros hace que el suelo sea leve y con poco peso específico (entre 0.9 y 1.2 g/cm³). Por su parte, Emerson (1990) indica que cualquier reducción en la porosidad del agregado denota deterioro estructural.

3.2.4 Formación

El proceso involucrado en la formación de agregados es dinámico y sumamente complejo y en el intervienen factores físicos, químicos y biológicos.

Factores físicos

La textura de un suelo juega un papel importante en la formación de agregados, ya que dependiendo del porcentaje de arena, limo y arcilla los procesos involucrados son diferentes (Oades, 1993). La arcilla y el humus por sus características coloidales, tienen la capacidad de unir partículas y son los principales agentes a los que se debe gran parte de la agregación en los horizontes superiores del suelo (Fitz *et al.*, 1982). Por lo que la presencia de arcilla favorece la formación de agregados, ya que dependiendo de las condiciones de humedad y del tipo de arcillas estos agregados pueden o no estabilizarse. Por otro lado, también es importante la presencia de limos y arenas, ya que promueven el movimiento de gases por y entre los agregados (Oades, 1993).

Los ciclos de humedecimiento y secado constituyen procesos en donde los micro y macroagregados se estabilizan, conservando la forma y el empaquetamiento de las partículas junto con el medio acuoso. Fitz *et al.* (1982) destacan, que en suelos con elevado contenido de arcilla del tipo de la montmorillonita, se presenta el fenómeno de expansión y contracción en respuesta a la presencia o ausencia de agua.

La formación de agregados en suelos limoso-arcillosos, se establece cuando la cohesión domina y en los ciclos de secado la expansión se hace evidente y por lo tanto, se crean fuerzas tensibles que eventualmente generan patrones de rompimiento a lo largo de planos débiles, como consecuencia, se observa en el suelo un desquebrajamiento. Los tamaños de estos patrones están controlados por la distribución de los planos, por lo cual, se presentan diferencias en la tensión del material (Oades, 1993).

Las rupturas entre los grupos de partículas que generan, la formación de agregados, requiere de la presencia de fuerzas débiles de tensión que se originan cuando el suelo está húmedo. Otro factor que controla los patrones de rompimiento es la uniformidad del material o la carencia durante los procesos de secado. Por otro lado, Oades (1993) establece que el secado de la superficie del suelo es frecuentemente controlado por las raíces de las plantas o bioporos que sirven como almacenes de agua.

Singer *et al.* (1992) enfatizan la importancia de la presencia de los ciclos de humedecimiento y secado en la formación de agregados y establecen que los materiales con estructura masiva no presentan estos ciclos tan marcados y definidos.

Factores químicos

Murray et al. (1993) dividen a los factores químicos en dos grupos. El primero son materiales primarios es decir, las partículas inorgánicas y orgánicas como agentes cementantes de hierro, óxidos, materia orgánica, materiales con varios electrones disponibles, macromoléculas polares, hifas y raíces de plantas, que se adhieren a la superficie de las partículas para formar puentes entre ellas.

Estos materiales primarios son capaces de establecer un rango amplio de fuerzas entre la fracción mineral y contribuir directamente a la estabilidad de los agregados.

El segundo grupo son las fuerzas que se generan en las partículas, éstas solo requieren de la presencia de agua y coloides del suelo. Cuando interactúan las partículas minerales del suelo se conoce como cohesión, pero cuando esta cohesión se presenta entre partículas de arcilla y moléculas de agua, se conoce como fuerzas de Van der Waals. Estas tienen su origen en la polarización de las moléculas de agua por la distribución y fluctuación de cargas entre las partículas de arcilla. Sin embargo, en el fenómeno de hidratación, la separación de superficies contiguas entre arcillas se lleva a cabo y las moléculas de agua (u otro material polar) se adsorben separando dichas superficies. Esta fuerza de hidratación, en distancias pequeñas, da evidencia de fuerzas repulsivas superiores a la atracción de Van der Waals y se define como fuerzas electrostáticas, que interactúan fuertemente entre superficies de intercambio de cationes y las moléculas polares de agua. Las fuerzas de hidratación constituyen a su vez parte del proceso de humedecimiento y secado, en la estabilidad de los agregados. Entre otros muchos procesos químicos, se encuentran las fuerzas que resultan de la adsorción de macromoléculas no cargadas, éstas establecen una fuerza de unión fuerte entre partículas del orden de los polisacáridos.

Tomando en cuenta la descripción anterior, ambos procesos están involucrados en los descritos por Fitz et al. (1982), en los cuales se establece que son la hidrólisis, hidratación, disolución, formación de arcillas, oxidación y reducción, los principales procesos que se efectúan en la formación de agregados.

Factores biológicos

Existen organismos y compuestos orgánicos que interactúan entre sí y están involucrados en la formación de agregados. Los organismos responsables de esta agregación, se pueden diferenciar los microorganismos que se presentan en el suelo, como son hongos, bacterias, actinomicetos, algas, larvas de insectos y protozoarios. Los macroorganismos están representados por nemátodos, insectos, artrópodos y especies vegetales. Entre los compuestos orgánicos predominantes se encuentran los mucílagos (excretados por las plantas), células muertas, exudados libres y excrementos (Oades, 1993; Nadler, 1993; Somapala, 1992; Bennie, 1991; Pitchett, 1986; Primavesi, 1982; Fitz et al. 1982)

Estructuralmente, Oades (1993) establece que el 70% de la porosidad total de un agregado está conformado por bioporos, los cuales se pueden diferenciar por recubrimientos en las paredes de los poros como: arcillas cementadas, materiales

húmicos, carbonato de calcio y óxidos de hierro; diferenciándose también por presentar tamaños largos y cilíndricos. Las principales funciones que los bioporos presentan, son infiltración de agua e intercambio gaseoso. Los compuestos orgánicos son utilizados en la cementación de partículas minerales, éstos son originados principalmente por la planta o por efectos de microorganismos en la raíz.

Bennie, (1991) establece una división entre estos compuestos, diferenciándolos en: células muertas de la raíz, las cuales requieren el efecto de microorganismos para ser utilizados como fuente de energía, los mucilagos, que es un material gelatinoso de alto peso molecular constituido por polisacáridos y ácidos secretados por la raíz. El mucílago, protege a las raíces de la desecación, actúa como lubricante y permite el contacto entre la raíz y el suelo. También se presentan los mucilagos producidos por la degradación de bacterias (Nadler, 1993). Y por último, los solutos orgánicos, que son compuestos de origen tanto animal como vegetal, de bajo peso molecular, en donde los principales constituyentes son azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos y ácidos fenólicos.

3.2.5 Estudios sobre agregación en tepetates

Desde hace varios años se establecieron trabajos relacionados al estudio de tepetates. Sin embargo, la cifra disminuye cuando nos enfocamos al estudio de la estabilización de este material en forma de agregados por efecto de especies vegetales.

Velázquez (1994), establece tres diferentes factores que pueden contribuir a la formación de agregados en tepetates.

- 1) el efecto del cementate,
- 2) el aporte de materia orgánica en el abonado y
- 3) la acción mecánica y química de la raíz.

Velázquez (1994), evaluó las diferencias que se presentaron acuerdo con la especie vegetal utilizada. En este caso el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y el pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) fueron las que presentaron mayor capacidad de agregación y disgregación a partir de tepetate fracturado.

Los materiales endurecidos carecen de estructura y de cantidades apropiadas de materia orgánica por lo que el establecimiento de especies vegetales, en conjunto con el abono, constituyen una aportación en la formación y estabilidad de los agregados. Cuando predominan tamaños de 2 a 5 mm, se incrementa la cementación por acción de la materia orgánica, resultando un buen manejo en la recuperación de zonas para la actividad agrícola en suelos endurecidos (Velázquez, 1997).

Acevedo *et al.* (1997) estudiaron el efecto de especies vegetales; pasto Rhodes (*Chloris Gayana* Kunth), Huaje rojo (*Leucaena esculenta*) y Guayaba (*Psidium guajava*), para evaluar la dinámica de agregación y disgregación del tepetate en invadadero. El tratamiento que contribuyó con mayor eficiencia a la formación de agregados, fue el del pasto Rhodes con abono orgánico de gallinaza en un tepetate amarillo. Esto fue debido a la rápida aclimatación que favorece el crecimiento radical. Por otro lado, proponen los autores, que la gallinaza presenta compuestos que actúan como puente de unión con los cationes del medio favoreciendo junto con los exudados y residuos de raíz a la estabilidad

de los agregados. Por último, destacan que el tepetate amarillo presentó una dureza menor al blanco provocando una susceptibilidad mayor por efectos físicos, químicos y biológicos.

Los estudios realizados por Acevedo et al.(1997) y Velázquez (1997) manifiestan que el efecto mecánico y químico de la raíces de las plantas parece ser de gran importancia en la formación de agregados, ya que indican, que no sólo aportan materia orgánica al suelo sino también forman una cubierta que evita la erosión de la capa superficial de suelo y produce un ambiente óptimo para el desarrollo de microorganismos.

Fechter et al.1997; Pitchett, 1986 y Bennie, 1991, establecen que en estudios realizados en materiales endurecidos con aplicación de abono orgánico, los resultados denotan un incremento en la estabilidad de agregados de la estructura del suelo, por lo cual, este proceso resulta óptimo para el establecimiento de especies vegetales. Por otro lado, indican que la planta beneficia esta estructura destacando el efecto y la importancia de la raíz y la secreción de los exudados.

3.3 ABONOS ORGÁNICOS

Los principales aportes del abono de origen animal que se utiliza para enriquecer y mantener una estructura adecuada en el suelo, son los provenientes de estiércoles de vaca, caballo, cerdo, chivo, oveja, gallina y, en algunas zonas los guanos.

El contenido de nutrimentos que presenta el estiércol dependen de la efectividad funcional, que son resultado de las condiciones en las que se encuentra el estiércol (Tovar, 1987). Las evaluaciones para conocer la cantidad de nutrimentos están enfocadas a los principales macronutrimentos, como son el nitrógeno, fósforo y potasio. Sin embargo, es importante mencionar la gran variedad de elementos minerales que se encuentran en el estiércol en forma de nutrimentos secundarios aprovechables para las plantas que son B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al, Mg y Ca (Tisdalle *et al.*, 1970).

El tipo de estiércol utilizado en este trabajo fue el de ovino. Las cantidades promedio de N, P y K en ton/ha aportadas por el abono de ovino son:

P o r c e n t a j e s					
Estiércol	Materia seca	Agua	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Ovino	16	75	2.88	2.06	3.02

(Tisdalle *et al.*, 1970; Fernández, 1982).

Es importante mencionar que de acuerdo con Tovar (1987), el estiércol de ovino es el que presenta el mayor aporte de nitrógeno y potasio en comparación con los estiércoles de los principales animales de granja como son los equinos, bovinos, cerdos y gallinas.

Rodríguez (citado por Tovar, 1987) realizó estudios sobre la importancia del estiércol en relación con algunas propiedades físicas del suelo y destaca un aumento de materia orgánica. Por otro lado, establece que para mantener en óptimas condiciones el aspecto físico del suelo, es recomendable la aplicación de dosis pequeñas pero frecuentes de abono; a diferencia de la incorporación de grandes cantidades en una sola aplicación.

El aporte nutritivo que se genera por la actividad biológica de microorganismos presentes en el estiércol, es importante, ya que, aumenta la variedad y cantidad de nutrimentos a las plantas y por otro lado, aumenta las cantidades de materia orgánica, que contribuye a mejorar las propiedades físicas del suelo, aumenta la retención de agua y disminuye el efecto del estrés hídrico (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1997).

En estudios realizados en tepetates, Quantin (1997) establece la importancia de añadir abonos para contribuir a la formación de una estructura adecuada para el establecimiento de especies vegetales. Por su parte, Ferrera *et al.* (1997) y Navarro (1997) reportan que en estudios realizados con material endurecido, el aporte de nutrimentos en forma de estiércol promueve y mantiene poblaciones importantes de microorganismos y de mesofauna, esenciales para establecer la dinámica en la formación de agregados. Así, con el tiempo, la materia orgánica en forma de estiércol favorece la

creación de una estructura secundaria en este material. Navarro (1997) indica que el agregar abonos orgánicos a los suelos con tepetate resulta benéfico para la estructura de éste, sin embargo, sugiere una combinación de fertilizante químico, para mantener un aporte inmediato de nutrimentos para la planta. Baez (1997) reporta que el papel que juega el estiércol en la nutrición de la planta no es muy claro, ya que la acción es tardía y no satisface las necesidades inmediatas de la planta.

3.4 ESPECIES VEGETALES

Las especies vegetales junto con el suelo y la biota, constituyen un sistema sumamente complejo en donde el nexo entre estos elementos lo constituyen las raíces.

Las raíces conforman el sistema de fijación para las plantas y llevan a cabo funciones como absorción, transporte de agua y de sustancias nutritivas. Ejercen también una influencia significativa sobre el desarrollo del suelo, contribuyen considerablemente al contenido de materia orgánica en los suelos, por el efecto constante de renovación de células radicales, así como por la presencia de bacterias, hongos, algas y protozoarios asociados a la planta (Trowse, 1994; Brussaard, 1993; Oades, 1993; Primavera, 1982). Según Bennie (1991), las raíces liberan considerables cantidades de carbono orgánico, aproximadamente el 30% del total del contenido en el suelo, contribuyendo a modificar las condiciones físicas del mismo por medio de la presión ejercida en él (Zebrowski, 1997; Pimentel, 1982; Quantin, 1982).

En óptimas condiciones, el sistema radical crece y se expande tanto hacia abajo como a los lados, la estructura dominante de la mayoría de las plantas presenta la capacidad de elongarse rápidamente por varios días y desarrollar ramificaciones para captar nutrientes en condiciones extremas (Trowse, 1994).

Existen diferencias entre el sistema radical de las monocotiledoneas y dicotiledoneas, las primeras tienen muchas raicillas finas, llamadas también secundarias que no son muy profundas, por su parte, las dicotiledoneas presentan una estructura primaria profunda y carecen algunas veces de raíces secundarias. Oades (1993) establece que las plantas con sistema radicular secundario ejercen presión radial sobre el suelo expandiendo sus diámetros de absorción de alimento y de influencia sobre los efectos físicos y químicos del suelo.

En suelos compactados, el crecimiento de las raíces se ve afectado por la disminución o falta de oxígeno, dando como resultado la muerte de las células y, a largo plazo la muerte de la planta. Por otro lado, la compactación del suelo incrementa el área de contacto entre el agua y las partículas del suelo por lo tanto, la adhesión incrementa y consecuentemente el total de agua viable, que constituye el agua de capilaridad o adsorbida (-0.1 a -15.0 bars), se ve reducida (Fetcher-Escamilla, 1997; Delgadillo, 1997; Gutiérrez, 1994, Trowse, 1994; Oades, 1993; Samapala, 1992). Por esta razón se recomienda fracturar el tepetate. (Fetcher-Escamilla, 1997; Pimentel, 1992). Delgadillo (1997) y Gutiérrez (1994) indican que en los tepetates, la degradación de la materia orgánica y los efectos físicos y químicos de las plantas presentan los siguientes beneficios:

- agregación de las partículas
- estabilidad de agregados
- aumento en la porosidad
- incremento en la conductividad eléctrica
- conservación de la humedad.

3.4.1 TEJOCOTE

Familia: Rosaceae

Especie: *Crataegus mexicana* Moc. et Sessé

Generalidades

Originario de América, se encuentra representado en lugares templados y fríos. En México se distribuye en los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Veracruz, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán y el D.F. También se encuentra en Centroamérica y Ecuador. Se presenta en sitios perturbados de bosque mesófilo de montaña, de bosque de encino y de bosque de coníferas.

En la Ciudad de México se localizan en lugares como el parque Luis G. Urbina, el Bosque del Pedregal, el Jardín Botánico Exterior de Ciudad Universitaria, así como en la parte baja del Desierto de los Leones.

El tejocote no requiere condiciones especiales de cultivo. Tolera los climas fríos, afectándole el exceso de humedad. Se establece en cualquier tipo de suelo favoreciéndole los suelos ácidos. Para su desarrollo no es necesario el riego. No es necesaria la fertilización.

Descripción botánica

Arbusto o árbol monóico caducifolio de 4 a 10 m de altura, espinoso y de amplio follaje. Tipo de raíz pivotante y profunda. La corteza es rugosa de color gris rojiza, se desprende en tiras.

Presenta hojas simples alternas, ovaladas, romboides-elípticas u ovado lanceoladas agudas, angostas hacia el ápice, márgenes aserrados en forma irregular, haz de color verde oscuro, glabro, el envés de color más pálido y algunas veces pubescente o coriáceo, estípulas espatuladas caedizas, peciolo hasta de 1 cm de largo. Las flores son de color blanco con 5 sépalos, 5 pétalos ovado orbiculares de 7 a 10 mm de largo y 10 estambres. Se presentan en forma de umbelas terminales con 2 a 6 flores. Florece de enero a marzo.

El fruto es una drupa de 1 a 3.5 cm de diámetro subgloboso o piriforme de color café y de textura lisa, con una cavidad que lleva restos de los estambres y del cáliz, con pulpa espesa aromática, dulce o ácida. El fruto, aunque se forma durante la primavera madura hasta los meses de noviembre y diciembre.

Importancia

En México existen 8 especies. Se propaga por semillas en estado silvestre.

La madera se usa para fabricar mangos de herramientas y utensilios, es dura y pesada, de grano fino, con radios medulares oscuros. Se le considera de importancia etnobotánica en varios estados de la República Mexicana (Martínez *et al*, 1994; González de Cosío, 1984; Martínez, 1959; Martínez, 1979).

3.4.2 HIGUERA

Familia: Moraceae

Especie: *Ficus carica* L.

Generalidades

Originario de Asia sudoccidental, de climas templados a cálidos, en la actualidad crece de manera silvestre en la zona mediterránea. Se cultiva en diversas regiones de México.

La higuera no requiere condiciones especiales de cultivo. Se presenta en cualquier tipo de suelo, soporta terrenos calcáreos y secos. Se desarrolla en climas templados. No tolera la sombra. No es necesario el riego. Se aconseja aplicar fertilizante para obtener frutos de calidad.

Descripción botánica

Árbol o arbusto caducifolio, de hasta 9 m de altura, presenta numerosas ramas gruesas, glabras, extendidas o ascendentes; copa gruesa, redondeada o aplanada; sombra media, con savia espesa y lechosa; es de rápido crecimiento, vive de 30 a 40 años. La corteza es lisa y de color grisáceo. El sistema radicular se presenta extendido superficial. Las hojas son simples, alternas, ovadas y ovales, generalmente con 3 a 7 lóbulos, irregularmente dentadas; miden de 10 a 20 cm de longitud y casi igual de ancho, base cordada o truncada, áspera en el haz y pubescencia gruesa y rígida en el envés; nervadura palmada, pecíolos de 2 a 10 cm.

Las flores, se desarrollan dentro de un receptáculo cóncavo en forma de pera con un orificio estrecho, solitario, axilar, color verdoso, café o violeta de 3.5 a 8.5 cm; flores estaminadas casi sésiles, con 2 a 6 sépalos y 1 a 3 estambres; flores pistiladas con tallos cortos, pistilo lateral y elongado, ovario sésil de una cavidad. Cuando son especies de invernadero se encuentran sólo flores femeninas, la reproducción se realiza por partenogénesis, florece en primavera.

Los frutos reciben el nombre de Higo, es un sícono obovoide o elipsoide y carnoso también se le denomina falso fruto y se origina a partir de una inflorescencia cóncava y periforme, si las flores se encuentran dispuestas, estas producen los verdaderos frutos, que están alojados en una pulpa, la cual procede del engrosamiento del receptáculo carnoso.

Importancia

Se cultiva como árbol ornamental y por su fruto, el cual sirve como complemento alimenticio, crudo, encurtido o en mermelada, contiene vitaminas A y C y en gran medida calcio, azúcar, fierro y cobre. Es de importancia etnobotánica (Martínez *et al* 1994; González de Cosío, 1984; Martínez, 1979; Martínez, 1959; Martínez, 1979).

3.4.3 OLIVO

Familia: Oleaceae

Especie: *Olea europea* L.

Generalidades

Es originario de Asia Menor y se ha cultivado en los países que están a ambos lados del Mediterráneo. A México fue traído por los españoles en la época colonial y aún quedan restos de las plantaciones. Los estados donde el olivo se ha plantado con mayor intensidad son: Baja California, Querétaro, Zacatecas, México, Puebla, Guerrero, Morelos, Michoacán, Sonora y San Luis Potosí.

El olivo se puede adaptar a terrenos escarpados, pedregosos, secos y áridos. Se desarrolla en climas cálidos, no soporta temperaturas menores de -10 C., tolera el calor extremo y atmósferas secas, pero requiere de inviernos fríos para fructificar. Le favorecen los suelos profundos y bien drenados. Exposición soleada o sombra parcial, la sombra detiene su desarrollo, tolera los vientos. No requiere riego ni fertilización.

Descripción botánica

Es un árbol perennifolio que alcanza hasta 12 m de altura, copa redondeada a irregular, tronco corto con bordes, a veces se ramifica desde la base. Es de crecimiento lento, muy longevo, llega a alcanzar hasta 2 000 años de edad.

La corteza es lisa, fisurada de color oscuro o gris cafezusco, se rompe al envejecer.

Sistema radical, profundo, agresivo y desarrollado.

Hojas opuestas de 4 a 8 cm de largo por 1 a 2 cm de ancho, lanceoladas o estrechamente elípticas, bordes ligeramente vueltos hacia abajo, gruesas, color verde grisáceo con venas no visibles por el haz, escamas plateadas por el envés, pecíolo corto, ápice agudo, margen entero.

Las flores se presentan en racimos cortos ramificados situados en la base de las hojas, cada una mide 5 mm de largo, con 4 lóbulos y corola de color blanco amarillento y fragantes.

El fruto es una drupa oval carosa conocida como aceituna, de color verde cuando inmaduro o negro ya maduro, mide de 2 a 5 cm de largo por 1 a 3 cm de ancho, aceitosa, con una semilla dura que mide unos 20 mm, es de notarse que el aceite se encuentra en el pericarpio y no en la semilla como sucede en casi todas las plantas productoras de aceite. Maduran en otoño. Los frutos se producen en árboles mayores de 8 años.

Importancia

El olivo es un árbol ornamental de crecimiento lento. Los frutos son comestibles después de que se empapan en agua salada o en una solución de lejía. El aceite de oliva se obtiene al machacar y presionar el fruto. Anteriormente se elaboraban perfumes y cosméticos. La madera es de gran resistencia, se utiliza en la fabricación de muebles de calidad y mangos de herramientas (Martínez et al 1994; González de Cosío, 1984; Martínez, 1979; Martínez, 1959).

3.4.4 MEMBRILLO

Familia: Rosaceae

Especie: *Cydonia vulgaris* Pers

Generalidades

Originario de Asia Occidental. Se cultiva en regiones del centro del país, así como en el norte en estados como Sonora y Chihuahua.

Se presenta en climas templados y relativamente fríos. Se desarrolla en toda clase de suelos. No requiere fertilización.

Descripción botánica

Árbol de 4.5 a 6 m de altura o más. Hojas amplias de 4 a 8 cm de largo, en el enverso no presentan pubescencia, sin embargo, en el reverso sí, su textura es aterciopelada. La flor, presenta un cáliz lobulado como receptáculo llamado hipantio urceolado, sosteniendo 5 sépalos. Ovario con 5 lóculos, cada uno con 2 óvulos. Estambres numerosos de 2 a 5 estilos.

Los frutos se denominan pomos, generalmente longitudinales con apariencia tomentosa, amarillentos de forma irregular, bastante aromáticos y con la pulpa muy coriacea y áspera.

Importancia

El membrillo se adapta a cualquier tipo de suelo, desde los más fértiles a las tierras más pobres. En Morelos, Tlaxcala y Sonora es de importancia etnobotánica (Martínez et al 1994; González de Cosío, 1984; Martínez, 1979; Martínez, 1959).

3.4.5 DURAZNO

Familia: Rosaceae

Nombre científico: *Prunus persica* Batsch

Generalidades

Originario de China, se cultiva en todas las zonas templadas de ambos hemisferios.

En la ciudad de México se le encuentra en parques como: en el Jardín Centenario de Coyoacán, Bosque de Chapultepec, Parque Luis G. Urbina, Alameda de Santa María la Ribera, zócalo delegacional de Azcapotzalco.

Se presenta en climas templados. Se adapta a terrenos pedregosos y calcáreos o a otro tipo de suelos dependiendo del pie en que esté injertado. No tolera la sombra. Si se requiere el fruto, es necesario el riego para mantener la humedad del suelo y un buen drenaje mientras el fruto este madurando, en estado vegetativo tolera suelos sin humedad. No requiere fertilización.

Descripción botánica

Árbol monoico caducifolio que alcanza de 4 a 6 m de altura, copa redondeada irregular, de 5 a 7 m de diámetro, sombra densa, ramas extendidas; crecimiento moderado, vive aproximadamente 20 años. La corteza es de color marrón, lisa apenas fisurada. La raíz es superficial, extendida.

Las hojas son simples, conduplicadas en las yemas, de forma elíptico-lanceolada a oblongo-lanceoladas, se ensanchan a la mitad, de 8 a 15 cm de largo por 2 a 3 cm de ancho, ápice largo acuminado, la base varía de agudo a acuminado o ancho cuneado, margen finamente dentado, superficie glabra y lustrosa, color verde brillante, marginadas de ácido prúsico, pecíolo glandular, de 1 a 2 cm de largo.

Las flores se presentan solitarias o en conjuntos de dos, fragantes, perfectas de 2 a 5 cm transversalmente; 5 pétalos rosas, extendidas, redondeadas, cáliz con 5 sépalos su cara externa pubescente, de 20 a 30 estambres, filamentos por lo general del color de los pétalos, ovario tomentoso, una cavidad sésil, 2 óvulos péndulos, pistilo solitario con un estilo terminal simple; aparecen por lo general antes que las hojas, de marzo a mayo.

El fruto es una drupa, subgloboso, acanalado sobre un lado, cubierta aterciopelada-tomentosa, de 5 a 8.5 cm de diámetro. La pulpa es jugosa azucarada, perfumada, de tonalidades amarillas aunque a veces también blanca, separada en mitades en las suturas; hueso elíptico a ovoide-elíptico, afilado en el extremo distal y cuya superficie presenta numerosos surcos retorcidos que contienen una semilla no comestible. Madura de julio a octubre.

Importancia

En la ciudad es apreciado como árbol ornamental, ya que sus frutos por lo general no maduran. El fruto es comercializado en algunos estados de la República. Las hojas son utilizadas como infusión y para calmar dolores estomacales (Martínez *et al* 1994; González de Cosío, 1984; Martínez, 1979; Martínez, 1959).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar el efecto en la formación de agregados, en un tepetate fracturado con 5 especies frutales y abono de ovino durante 6 meses, en condiciones de invernadero.

4.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el porcentaje de agregación en seco y la estabilidad en húmedo de los agregados.
-
- Determinar los cambios en las propiedades físicas (densidad real, densidad aparente y textura) del tepetate, por efecto de los tratamientos
- Determinar los cambios en las propiedades químicas (pH, materia orgánica, CICT y saturación de bases) del tepetate, por el efecto de los tratamientos

5. HIPOTESIS

Las especies frutales y el abono de ovino, al cabo de 6 meses, producen cambios físicos y químicos en el tepetate fracturado, que promueven la formación de estructuras edáficas llamadas agregados.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Determinar el efecto en la formación de agregados, en un tepetate fracturado con 5 especies frutales y abono de ovino durante 6 meses, en condiciones de invernadero.

4.2 Objetivos Especificos

- Cuantificar el porcentaje de agregación en seco y la estabilidad en húmedo de los agregados.
-
- Determinar los cambios en las propiedades físicas (densidad real, densidad aparente y textura) del tepetate, por efecto de los tratamientos
- Determinar los cambios en las propiedades químicas (pH, materia orgánica, CICT y saturación de bases) del tepetate, por el efecto de los tratamientos

5. HIPOTESIS

Las especies frutales y el abono de ovino, al cabo de 6 meses, producen cambios físicos y químicos en el tepetate fracturado, que promueven la formación de estructuras edáficas llamadas agregados.

El clima que rige la zona, según Köeppen modificado por E. García (1987), es un C(wo)(w) que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 642.7 mm. Los meses más lluviosos son de junio a septiembre con más de 100 mm de precipitación anual, mientras que los meses más secos son diciembre, enero y febrero con menos de 10mm. El material parental lo constituyen rocas volcánicas de origen ácido como andesitas y dacitas. La zona presenta un relieve convexo con una pendiente del 25%; el drenaje superficial es normal, ya que recibe la misma cantidad de agua en la pendiente superior, que la que pierde por escurrimiento. El tipo de erosión es hídrica laminar en grado moderado. La vegetación del área se encuentra representada en su mayoría por especies reforestadas como *Cupresus lindleyii* - cedro blanco, *Acacia filiforme* - acacia-, *Casuarina equisetifolia* - casuarina-, *Schinus molle* - Pirul- y *Eucalipto sp* - eucalipto- que se considera la especie dominante (Vela, 1998; INEGI, 1984).

7. METODOLOGÍA

El trabajo se estructuró en cinco etapas:

7.1 Gabinete

Revisión de literatura

Comenzó con la recopilación de información referente a: los tepetates, especies vegetales, zonas en la Ciudad de México con presencia de este material, diferentes tipos de abono y estudios sobre agregación en tepetates.

Selección de la zona de estudio

Este trabajo de investigación forma parte de los estudios que actualmente se llevan a cabo en la Sierra de Guadalupe por parte del Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Instituto de Geología de la UNAM. Por otro lado la carta de Geológica 1:50 000 del INEGI reporta la presencia de materiales endurecidos en la zona.

Selección de especies vegetales

La selección utilizada en este trabajo tiene como finalidad conocer nuevas especies, capaces de mantenerse bajo las condiciones que predominan en los materiales endurecidos. Son vegetales de tipo frutal de las familias Rosaceas; como el durazno (*Prunus persica* Barseh), el membrillo (*Cydonia vulgaris* Pers) y el tejocote (*Crataegus mexicana* Moc. Et Sessé). De la familia de las Moraceas la higuera (*Ficus carica* L.) y de la familia de las Oleaceas, el olivo (*Olea europea* L.).

Cabe destacar que estas especies vegetales se consideran, de acuerdo con González de Cosío (1984), como parte de la vegetación de la ciudad de México, y que Martínez *et al* (1994) y Martínez (1959) sugieren que las 5 especies presentan resistencia a suelos pobres, no profundos y no requieren cuidados especiales.

Selección de abono orgánico

El abono orgánico seleccionado fue de ovino, el cual dentro de los estiércoles, se considera el que presenta mayores proporciones de nitrógeno y potasio asimilable para las plantas. El suministro de estiércol de ovino se llevó a cabo de acuerdo con lo descrito por Tovar, (1987) en dosis de 30 g de estiércol por maceta el equivalente a 1t/ha.

Diseño del experimento

El diseño del experimento fue un modelo factorial 6X2 que corresponde a 12 tratamientos con tres repeticiones cada uno, lo que en total suma 36 unidades experimentales. El primer factor corresponde a los tratamientos sin planta, higuera, membrillo, olivo, tejocote y durazno, el segundo factor está relacionado con los tratamientos con abono y sin abono. Las tres repeticiones son las mínimas que se requieren para justificar el experimento bajo condiciones de invernadero (**Tabla 1**).

Tabla 1. Relación de los tratamientos

Tratamientos	Clave	Repeticiones
1 Testigo sin abono y sin planta	Test s/a s/p	3
2 Testigo con abono y sin planta	Test c/a s/p	3
3 Higo sin abono	H s/a	3
4 Higo con abono	H c/a	3
5 Tejocote sin abono	T s/a	3
6 Tejocote con abono	T c/a	3
7 Durazno sin abono	D s/a	3
8 Durazno con abono	D c/a	3
9 Membrillo sin abono	M s/a	3
10 Membrillo con abono	M c/a	3
11 Olivo sin abono	O s/a	3
12 Olivo con abono	O c/a	3
	Total	36

7.2 Campo

Se llevaron a cabo recorridos a la Sierra de Guadalupe para determinar el sitio en donde se encontraba el tepetate, así como para conocer las características de la zona, los medios necesarios para el acceso al lugar y los requerimientos para el transporte del tepetate.

El sitio de muestreo se encuentra ubicado al norte de la Ciudad de México en el Parque Nacional El Tepeyac en el Cerro Vicente Guerrero de la Sierra de Guadalupe (**Foto 1**).

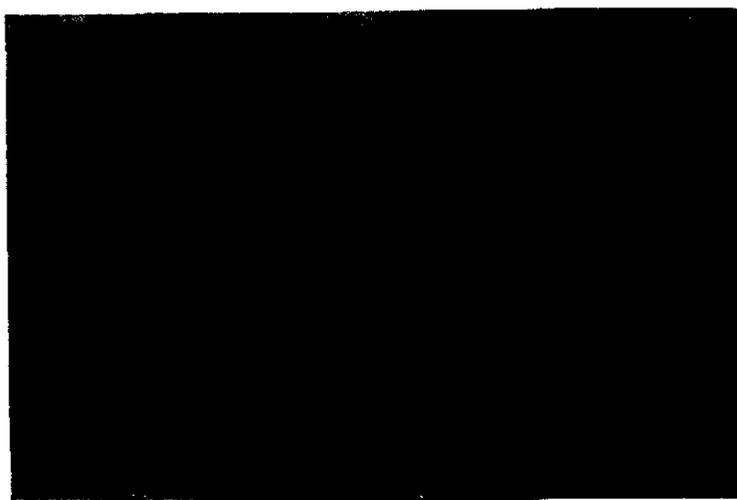


Foto 1. Zona de muestreo

El muestreo se realizó reconociendo al tepetate como representativo del Cerro el Guerrero. Se colectó el material con pico y pala. En total se tomaron 700 kg. El tepetate fue trasladado al Instituto de Geología de la UNAM para su posterior procesamiento en invernadero y laboratorio (**Foto 2**).

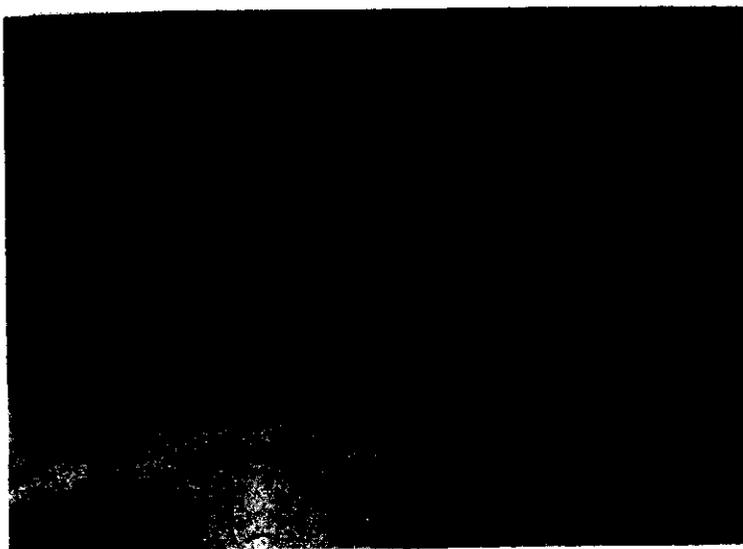


Foto 2. Muestreo del tepetate

7.3 Invernadero

El tepetate, ya una vez en el invernadero, se secó y se fracturó manualmente (con pico y martillo), para posteriormente colocarlo en macetas. Para ello, se estandarizaron las proporciones de los fragmentos para cada una de las macetas, destacándose así tres tamaños con una proporción definida. Los fragmentos mayores de 12 cm representaron una proporción del 55%, los de 12 a 2 cm representaron una proporción de 20% y por último, con una proporción del 25% se encuentran aquellos menores de 2 cm (**Foto 3**).



Foto 3. Tamaños del material utilizados en cada uno de los tratamientos

Establecimiento del experimento

El tepetate previamente fracturado y de acuerdo con los tamaños establecidos, se incorporó en macetas sin perforaciones con una capacidad para 5 kg en cada se colocaron 4.5 kg del material. Las macetas fueron rotuladas indicando el tratamiento y el número de repetición correspondiente.

El trasplante se realizó despojando a la planta de la bolsa junto con el sustrato original (tierra de hoja). La planta se sumergió en un recipiente con agua para limpiar la parte radical y eliminar residuos de tierra de hoja. Posteriormente, la planta se incorporó a la maceta con el tepetate. Con respecto al abono orgánico, este se adicionó según los tratamientos correspondientes (**Fotos 4,5 y 6**).



Foto 4. Trasplante de los frutales a las macetas



Foto 5. Establecimiento del experimento en el invernadero

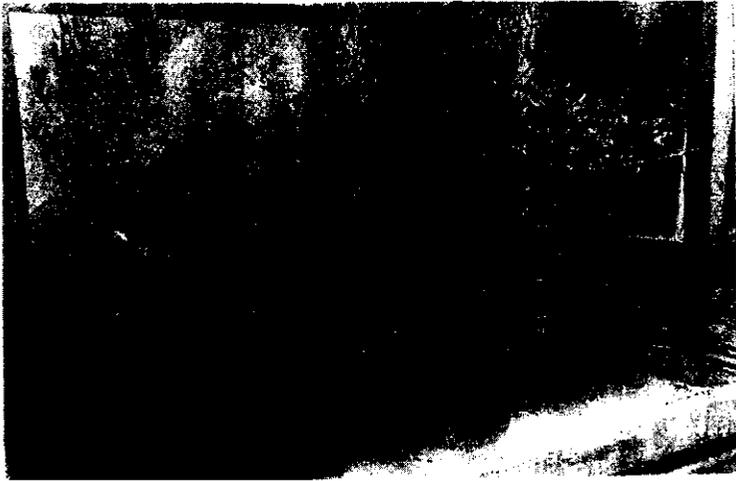


Foto 6. Establecimiento del experimento en el invernadero

Mantenimiento y observación del experimento

Se mantuvieron en observación durante 6 meses los diferentes tratamientos, cabe destacar que no hubo necesidad de realizar ningún trasplante de frutales posterior al momento de establecido el experimento (**Fotos 7 y 8**). Durante estos seis meses, el riego se llevo a cabo de manera periódica. Por lo que respecta a plagas, sólo el durazno (*Prunus persica*) presentó, ésta fue de tipo foliar, *Myzus persicae* llamada vulgarmente pulgón verde, que fue controlada con tabaco diluido en agua y asperjado a las hojas del árbol.

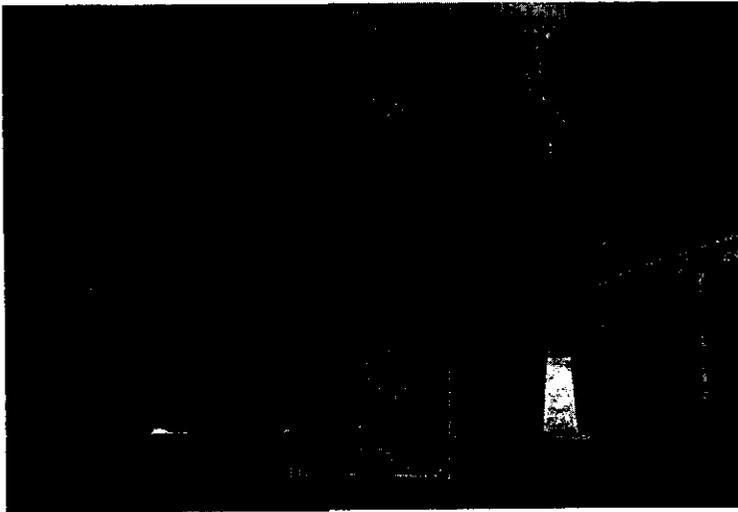


Foto 7. Los frutales mes y medio después de iniciado el experimento

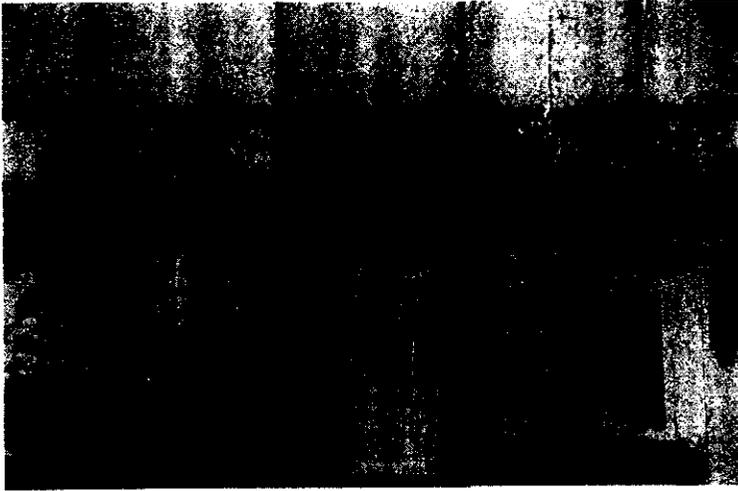


Foto 8. Los frutales al concluir el experimento

Cosecha de las especies frutales

Al finalizar los 6 meses del experimento, comenzó la cosecha de las plantas. Esta se llevó a cabo desalojando la planta del tepetate, cuidando de recuperar la mayor parte del material. En los tratamientos en donde la interacción planta-sustrato fue muy estrecha, se observó como las raíces envolvían al tepetate fuertemente, favoreciendo su interacción (**Foto 9**).



Foto 9. Se observa la relación sustrato-planta

Muestras del tepetate

El tepetate se sustrajo de las macetas y se mantuvo en el invernadero para su secado. Una vez seco de manera natural, se realizaron submuestreos completamente al azar para realizar las determinaciones correspondientes.

7.4 Laboratorio

Con el tepetate previamente seco y tamizado a 2mm se comenzó el trabajo de laboratorio, que consistió en evaluar los cambios producidos por el efecto de los frutales y el abono durante los 6 meses de establecido el experimento. Se realizaron las determinaciones físicas y químicas correspondientes para evaluar los cambios que favorecieron la agregación del tepetate (**Tabla 2**).

Objetivos de las determinaciones

Físicas

Color – identificar el color dominante del tepetate

Agregación – cuantificar la unión de partículas minerales y orgánicas organizadas en agregados y cuales de ellas son estables en agua.

Densidad real – conocer los cambios en la mineralogía del tepetate que provocan una disminución en el peso específico.

Densidad aparente – conocer la relación espacio volumen en el tepetate.

Textura – conocer los porcentajes granulométricos del tepetate.

Químicas

pH en solución acuosa – conocer la acidez o alcalinidad del tepetate.

pH en KCl – conocer la acidez potencial del tepetate.

Materia orgánica – cuantificar el porcentaje de materia orgánica.

Bases Intercambiables – cuantificar los principales cationes del tepetate.

Tabla 2. Relación de las determinaciones realizadas en el tepetate

Determinaciones físicas

- Color en seco y en húmedo (Tablas de Munsell, 1975)
- Determinación de agregados en seco, por el método de Sávinov (citado por Kaúrichev *et al.*, 1980)
- Estabilidad de agregados en húmedo, por el método de Klute (citado por Olesko, 1995)
- Densidad aparente, por el método de la parafina (SARH, 1988)
- Densidad real, por el método del picnómetro (Baver, 1980)
- Textura por el método de Bouyoucos, modificado por Villegas y colaboradores (1978)
- Determinación granulométrica, por el método de la pipeta (Day, citado por Black *et al.* 1965)

Determinaciones químicas

- pH en solución acuosa en proporción 1:2
- pH en solución de KCl en proporción 1:2, 1N
- Materia Orgánica, por el método de Walkley y Black (modificado por Walkley 1947)
- Bases Intercambiables, por determinación del extracto obtenido de NaCl. El Ca^{++} y Mg^{++} se determinaron por titulación con EDTA 1 N pH 7 (Jackson, 1970) y el Na^+ y el K^+ por flamometría.

7.5 Gabinete

En esta última etapa se retoma el trabajo de gabinete. De acuerdo con los objetivos específicos, los datos obtenidos en las determinaciones realizadas al tepetate (**Tabla 2**) se sometieron a un análisis estadístico de varianza para establecer la significancia estadística. Posteriormente, para aquellos tratamientos cuyo efecto fue significativo, se aplicó la prueba de T de Student para analizar las interacciones especie-tratamiento. Se desarrolló el estudio estadístico para cuantificar el porcentaje de agregación en seco, la estabilidad de los agregados, así como para determinar los cambios en las propiedades físicas y químicas del tepetate. Los resultados se apoyan con tablas, fotografías y gráficas para un mejor entendimiento y discusión.

8. RESULTADOS

8.1 Cuantificación de agregados en seco

Esta evaluación se refiere a la agrupación entre partículas de diferentes tamaños, de material mineral y de materia orgánica, que al interactuar originan agregados (Baver *et al.* 1980; Primavesi, 1980; Fitz *et al.*, 1982). Por medio de esta técnica se pueden cuantificar en porcentaje, los agregados en seco. Dichos valores se obtuvieron de la siguiente manera: para los 9 tamaños de fragmentos se estimaron los porcentajes, cuya suma corresponde al 100% (Tabla 3). De esta manera se pudieron evaluar las diferencias entre tratamientos.

Tabla 3. Porcentaje de agregación en seco

Tratamientos	Tamaños de los fragmentos								
	>10 mm	7a10 mm	5a7 mm	3a5 mm	2a3 mm	1a2 mm	0.5a1 mm	0.2a0.5 mm	<0.25 mm
Testigo	17.59	15.29	1.86	3.25	24.49	14.49	11.05	4.25	7.73
Testigo con abono	12.04	16.04	2.62	4.72	27.77	14.16	10.45	3.64	8.56
Membrillo con abono	7.29	13.59	4.87	3.65	26.30	15.26	12.15	7.68	9.21
Membrillo sin abono	20.07	16.93	1.81	3.54	23.31	12.06	10.25	4.59	7.44
Higuera con abono	15.38	14.82	1.73	3.89	24.18	14.28	11.67	3.88	10.71
Higuera sin abono	12.36	15.63	2.51	3.90	27.37	14.63	11.48	4.81	7.31
Olivo con abono	8.25	10.10	2.22	4.17	26.97	15.53	13.50	6.20	13.06
Olivo sin abono	7.30	14.32	2.53	3.75	26.17	14.97	13.28	5.03	12.65
Tejocote con abono	7.39	14.55	2.65	4.81	30.37	17.06	12.02	3.76	7.39
Tejocote sin abono	5.75	11.71	2.03	3.45	26.52	17.14	15.14	5.87	12.39
Durazno con abono	8.85	17.38	2.71	3.68	24.23	14.86	11.91	4.25	12.13
Durazno sin abono	9.59	14.35	1.70	3.46	24.28	19.48	13.78	5.72	9.48

De acuerdo con los tamaños de fragmentos mayores a 10mm se observó una disminución, siendo el membrillo con abono el que representa el valor más bajo y el membrillo sin abono el valor más alto, sin embargo el resto de los tratamientos presentaron valores menores con respecto al testigo (Tabla 3).

En los tamaños de 7 a 10 mm los valores oscilan alrededor de 10 a 18%, estableciéndose las mayores diferencias entre el olivo con abono y el durazno con abono. Los tratamientos membrillo con abono, higuera con abono, olivo con abono, olivo sin abono, tejocote con abono, tejocote sin abono y durazno sin abono presentaron valores por debajo del testigo (Tabla 3).

En los fragmentos de 5 a 7 mm los porcentajes son muy cercanos entre sí, sin embargo se denota un aumento en el tratamiento membrillo con abono, en relación con el testigo (Tabla 3).

En los siguientes valores (3 a 5, 2 a 3, 1 a 2, 0.5 a 1 de 0.25 a 0.5 y < a 0.25) los tratamientos muestran muy poca variación, sin embargo en los tamaños de fragmentos de 3 a 5 mm el valor más bajo fue para el testigo y el máximo se obtuvo en el tratamiento de tejocote con abono (Tabla 3).

En los fragmentos de 2 a 3 mm, los tratamientos que presentaron valores por abajo del testigo fueron: el membrillo sin abono, la higuera con abono, durazno con y sin abono; los tratamientos restantes fueron valores por arriba del testigo, siendo el valor más

alto el del tejocote con abono. Cabe destacar que en este tamaño se observó la mayor proporción de fragmentos de tepetate en relación con los demás fragmentos (**Tabla 3**).

De 1 a 2 mm, con respecto al testigo, los tratamientos con valores más altos fueron: El durazno sin abono, tejocote sin y con abono, olivo con abono, membrillo con abono, olivo sin abono, durazno con abono y la higuera sin abono; con respecto a los valores por debajo del testigo se evaluaron en los siguientes tratamientos: Membrillo sin abono, tejocote con abono y la higuera con abono. (**Tabla 3**).

Con respecto al testigo, en los fragmentos de 0.5 a 1 mm el valor mínimo lo obtuvo el membrillo sin abono y el máximo fue el tejocote sin abono (**Tabla 3**).

Los tratamientos membrillo con abono, olivo con abono y tejocote sin abono, se obtuvieron los valores más altos con respecto al testigo, en los fragmentos de 0.25 a 0.5 mm, los valores por debajo del testigo se presentaron en los tratamientos: testigo con abono e higuera con abono (**Tabla 3**).

Por último, en los fragmentos < a .25mm todos los tratamientos a excepción de la higuera sin abono presentaron valores por arriba del testigo, el tratamiento de olivo con abono fue el que presentó el valor más alto (**Tabla 3**).

Posteriormente se realizó el estudio estadístico, en el cual se llevó a cabo e; análisis de varianza para cada uno de los tamaños de fragmentos; los resultados no fueron significativos, es decir se obtuvieron valores por arriba de 0.05 (**Tabla 4**). Lo anterior se refiere que no hubo cambios estadísticamente significativos después de seis meses con los diferentes tratamientos, en los porcentajes de agregación en seco del tepetate.

Tabla 4. Análisis de varianza para agregación en seco

Tamaños de fragmentos	P>F
> de 10mm	0.4352
10 a 7 mm	0.2567
7 a 5mm	0.9324
5 a 3mm	0.4592
3 a 2mm	0.5682
2 a 1mm	0.1468
1 a 0.5mm	0.6234
0.5 a 0.25mm	0.3429
> a 0.25mm	0.5693

8.2 Cuantificación de estabilidad de agregados

Esta evaluación cuantifica la cualidad de los agregados de mantenerse aún en condiciones de humedad. El porcentaje de estabilidad de agregados se obtuvo de la misma manera que en la técnica anterior, sin embargo, en esta determinación se cuantificó el porcentaje de 6 tamaños de fragmentos de tepetate (**Tabla 5**).

Tabla 5. Porcentaje de agregados estables en húmedo

Tratamientos	Tamaños de los fragmentos					
	>5 mm	3a5mm	2a3mm	1a2mm	0.5a1mm	0.25a0.5mm
Testigo	31.40	5.61	29.61	15.71	13.15	4.52
Testigo con abono	24.35	6.65	30.64	18	14.96	5.38
Membrillo con abono	30.00	5.25	31.08	16.69	12.52	4.46
Membrillo sin abono	21.83	6.18	31.17	18.34	10.37	6.09
Higuera con abono	31.87	6.60	31.48	13.64	11.65	4.73
Higuera sin abono	30.08	6.56	30.27	16.44	12.81	4.79
Olivo con abono	31.50	5.68	28.43	16.51	10.83	3.70
Olivo sin abono	33.62	7.41	29.06	13.98	11.36	4.53
Tejocote con abono	21.37	7.62	36.91	18.80	11.91	3.37
Tejocote sin abono	20.20	5.83	32.13	20.18	16.15	5.49
Durazno con abono	38.57	7.25	26.96	12.85	10.18	4.18
Durazno sin abono	31.21	7.40	28.03	12.68	15.46	5.20

De acuerdo con los diferentes tamaños fragmentos, se observó que en los de > a 5 mm, los valores mínimos se presentaron en los siguientes tratamientos: tejocote sin y con abono y en membrillo sin abono, el valor más alto se obtuvo en el durazno con abono, con respecto al testigo. Esta evaluación también destaca la máxima proporción de fragmentos de tepetate en comparación con los demás tamaños (**Tabla 5**).

En los tamaños de 3 a 5 mm, con respecto al testigo solo el membrillo con abono presentó valores por abajo del testigo, todos los demás tratamientos estuvieron por arriba del valor del testigo, siendo el valor más alto el del tratamiento tejocote con abono. En general, la variación de los porcentajes entre tratamientos fue mínima (**Tabla 5**).

De 2 a 3 mm se presentó el mismo comportamiento que en el anterior rango de tamaño, sin embargo los valores por debajo del testigo se observaron en los tratamientos: durazno con y sin abono y el olivo con abono (**Tabla 5**).

El tratamiento que presentó el valor más bajo en el tamaño de 1 a 2 mm con respecto al testigo fue el durazno sin abono y los valores por arriba fueron los siguientes tratamientos: tejocote sin y con abono y membrillo sin abono (**Tabla 5**).

En los tamaños de fragmentos de 0.5 a 1 mm el mínimo valor con respecto al testigo fue para los tratamientos de durazno con abono, membrillo sin abono y olivo con abono. Los valores más altos fueron para el tejocote sin abono y durazno sin abono (**Tabla 5**).

Por último en los fragmentos de 0.25 a 0.5 mm se observó que el tejocote con abono, durazno con abono y membrillo con abono cuantificaron los valores más bajos con respecto al testigo, mientras que los valores más altos se presentaron en los tratamientos de membrillo sin abono, tejocote sin abono y el testigo con abono. La variación fue mínima en este tamaño (**Tabla 5**).

Al igual que en la determinación de agregación en seco, se realizó el análisis de varianza para conocer las diferencias estadísticas con respecto a la determinación de agregación en húmedo. Sin embargo los resultados muestran resultados no significativos (**Tabla 6**).

Tabla 6. Análisis de varianza para estabilidad de agregados en húmedo

Tamaños de fragmentos	P>F
>5mm	0.2687
5 a 3mm	0.9865
3 a 2mm	0.2378
2 a 1mm	0.1265
1 a 0.5mm	0.2869
0.5 a 0.25mm	0.3472

8.3 Propiedades físicas

Color

El color que el tepetate presentó en seco se identificó como gris rosáceo (7.5 YR 7/2) y en húmedo pardo oscuro (10 YR 4/3), destacando matices fuertes, ambos con poca luminosidad e intensidad. En la mayoría de las ocasiones cuando se estudian los tepetates, los especialistas suelen clasificarlos por color, en donde éste juega un papel importante, ya que debido al color predominante se suelen establecer hipótesis acerca de su naturaleza. El color que mostró el tepetate en seco podría destacar la presencia de sílice en el material (Quantin, 1992; Peña et al. 1992; Zebrowski et al. 1992).

Densidad aparente

Los resultados de densidad aparente presentan valores altos en este tepetate. Primavesi, (1980) reporta que con valores mayores de 1.3 g/cm^3 se presenta cierto grado de compactación. Fitz et al.(1980) indican que un material se considera compacto cuando los valores de densidad aparente están alrededor de 2 g/cm^3 . Por lo tanto, los valores obtenidos en esta evaluación corresponden con la estructura del material, la cual es una estructura masiva (Peña et al. 1992). Cabe mencionar que la técnica de la parafina, utilizada en esta valoración, es la apropiada para medir la densidad aparente de materiales endurecidos o litificados, ya que se respeta la estructura que existe entre las partículas minerales como se presentan en el campo (SARH, 1988; Peña et al. 1992).

La densidad aparente en el material, por efecto de los tratamientos presentó valores que oscilan entre 1.45 g/cm^3 a 1.80 g/cm^3 (Tabla 7). Al hacer el análisis estadístico de los datos, estos presentaron cambios significativos, lo que refleja que al cabo de 6 meses el efecto de los tratamientos sobre el material fue diferencial.

Tabla 7. Resultados de densidad aparente

Tratamientos	Densidad aparente(g/cm ³)
Testigo sin abono	1.69
Testigo con abono	1.55
Membrillo sin abono	1.71
Membrillo con abono	1.80
Higuera sin abono	1.58
Higuera con abono	1.75
Olivo sin abono	1.79
Olivo con abono	1.46
Tejocote sin abono	1.51
Tejocote con abono	1.50
Durazno sin abono	1.45
Durazno con abono	1.49

El análisis destaca la significancia estadística en los tratamientos correspondientes a la interacción especies vegetales-abono orgánico ($P > F$ 0.0207); a diferencia de los resultados obtenidos con los tratamientos sin abono y con abono y entre las especies vegetales en donde no se presentaron diferencias significativas (**Tabla 8**). Es decir, los cambios que el material experimentó en el transcurso de los 6 meses derivan de la interacción del frutal y el abono orgánico.

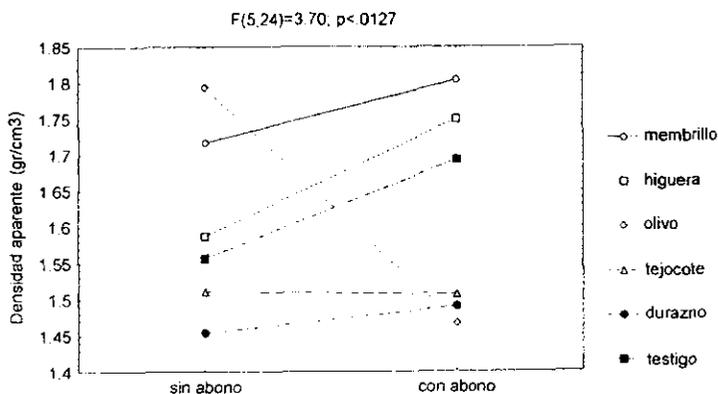
Tabla 8. Análisis de varianza para densidad aparente

Tratamientos	P >F	Significancia estadística
Especies vegetales	0.4898	No significativo
Abono	0.6875	No significativo
Interacción Especies vegetales-Abono	0.0207	Significativo

Posteriormente, los resultados de los parámetro se sometieron a la prueba de T de Student, para conocer con cuales tratamientos se presentaron los cambios. Se observó que, a diferencia de la interacción del higo con abono y sin abono, tejocote con abono y sin abono, membrillo con abono y sin abono, durazno con abono y sin abono, la interacción estadísticamente significativa ($P > 0.05$) fue la del olivo con abono.

La gráfica 1 muestra como los resultados de densidad aparente obtenidos en el estudio después del análisis de varianza y la T de Student. Se observa que el tratamiento de olivo con abono disminuyó la densidad aparente del material. Si se compara el resultado de olivo sin abono (O s/a 1.79 g/cm³) con el obtenido con la interacción olivo con abono (O c/a 1.46 g/cm³) se muestra como disminuyó el parámetro evaluado. Es decir, los cambios pueden atribuirse al efecto del frutal y al suministro de abono orgánico.

Por otro lado, la gráfica 1 presenta, para los tratamientos de tejocote sin abono (T s/a) y tejocote con abono (T c/a), que los valores de densidad aparente se comportan de manera similar. Sin embargo en este caso los resultados no fueron significativos, pero cabe destacar que presentan el mismo comportamiento. A diferencia de lo anterior los tratamientos restantes (Mc/a y Ms/a; Hc/a e Hs/a; Dc/a y Ds/a; y Test s/a y Test c/a) muestran tendencias contrarias, es decir, los valores de densidad aparente aumentan cuando la especie vegetal interactúa con el abono.



Gráfica 1. Densidad aparente del tepetate en los tratamientos

Densidad real

Los valores de densidad real que el tepetate presentó por efecto de los tratamientos oscilan entre 1.91 y 2.18 (g/cm^3) (Tabla 9), al evaluar este parámetro de densidad real, los resultados reflejaron que el material presenta procesos de cementación (Soil taxonomy, 1988; Hillel, 1982; Primavesi, 1980).

Tabla 9. Resultados de densidad real

Tratamientos	Densidad real (g/cm^3)
Testigo con abono	2.06
Testigo sin abono	1.91
Membrillo con abono	1.96
Membrillo sin abono	2.11
Higuera con abono	2.12
Higuera sin abono	2.25
Olivo con abono	1.99
Olivo sin abono	2.02
Tejocote con abono	2.10
Tejocote sin abono	2.18
Durazno con abono	2.09
Durazno sin abono	2.18

Por otro lado, dichos valores muestran que el cambio en este parámetro no fue significativo, ya que al realizar el análisis de varianza el resultado fue de $p > F 0.2430$. (Ver anexo I)

De acuerdo con la definición de densidad real, Bennie, (1991); Baver, (1980); Fitz *et al.* (1980) establecen que ésta es el producto del peso específico de los minerales que constituyen al material entre el volumen. Por lo tanto, la densidad real de cada tipo de material resulta un valor que suele ser constante, siempre y cuando las condiciones a las que se ve sometido, resulten poco agresivas. Tal es el caso de este trabajo, en el cual, el tepetate interactuó con las especies frutales y abono orgánico en condiciones de invernadero con aporte regular de agua, por lo tanto, en el experimento no se presentaron procesos químicos y físicos que pudieran contribuir a alterar la composición y el tamaño del material mineral del tepetate. Por otro lado, es importante mencionar que, en un lapso de 6 meses y bajo las condiciones en las que se mantuvo el experimento, los minerales que constituyen al tepetate no presentaron un intemperismo tal que produjera la transformación y por consiguiente la disminución del peso específico de los minerales.

Porosidad

Si se relaciona la densidad real con la densidad aparente se obtiene la porosidad del material. En este caso, y en todos los tratamientos, ambos resultados fueron altos y muy cercanos entre sí, lo que nos indica que el porcentaje de porosidad es de 15.5%, valor que corresponde a una porosidad baja. Es decir, el espacio poroso representado por macro y microporos se encuentra en una proporción reducida con respecto al material mineral. Los valores bajos en la porosidad denotan un aspecto característico en los tepetates, en los que el espacio poroso está ocupado por materiales amorfos como la sílice (Fitz *et al.*, 1980).

Textura por el método de Boyoucus.

Los valores obtenidos de la medición del parámetro de textura mostraron con todos los tratamientos la misma tendencia (Tabla 10) El porcentaje de arena fue alto, superior al 85%, mientras que el nivel de arcilla fue de 1g. Con base en los valores de las tres fracciones, la textura del material resultó ser arenosa en la mayoría de los tratamientos y migajón arenosa en el tratamiento de membrillo con abono. Sin embargo, las diferencias en el tipo de textura al ser sometidos al análisis de varianza resultaron no significativos ($p > F 0.8959$).

Tabla 10. Textura del tepetate con los diferentes tratamientos

Tratamientos	% arcilla	%limo	%arena
Testigo sin abono	1.00	10.66	88.33
Testigo con abono	1.00	11.66	87.33
Membrillo sin abono	0.67	10.66	88.66
Membrillo con abono	0.33	14.85	84.82
Higuera sin abono	1.00	11.66	87.66
Higuera con abono	1.00	11.33	87.66
Olivo sin abono	1.00	12.00	87.00
Olivo con abono	1.00	12.00	87.00
Tejocote sin abono	1.00	10.00	87.00
Tejocote con abono	1.00	10.00	87.00
Durazno sin abono	0.66	12	87.33
Durazno con abono	1.00	12	86.66

La textura, en comparación con otros tepetates estudiados, presenta un alto contenido de arena. Peña *et al* (1992) reportan valores que oscilan entre el 15 y el 50% de arcilla sin embargo, cabe mencionar que la valoración granulométrica en tepetates es sumamente complicada debido a limitantes en la dispersión debidos a la naturaleza del material (Velázquez R. A. S, comunicación personal 1999). Por otro lado, el empleo de la técnica de Boyocus, en la cual no se realizan pretratamientos para la eliminación de cementantes, plantea la posibilidad de que la fracción de arena pudiera estar representada por partículas de limo y arcilla cementadas.

Textura por el método de la Pipeta

La evaluación por este método resultó de gran ayuda para constatar lo descrito anteriormente, con respecto a la unión de partículas por acción de agentes cementantes. Los resultados indican que la textura del tepetate es Franco-Arcilloso-Arenoso con un porcentaje de arena de 49.3%, limo de 27.73% y de arcilla 22.96%. Esta determinación sólo se llevó a cabo con en el Testigo debido a que los resultados que se obtuvieron en la determinación por el método de Boyocus, presentaron valores muy similares con todos los tratamientos.

8.4 Propiedades químicas

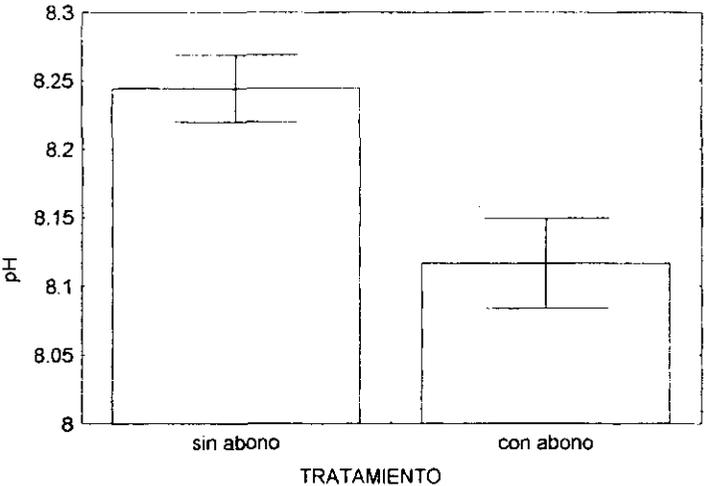
pH

El parámetro pH evaluado en solución acuosa presentó valores que caracterizan al tepetate como moderadamente alcalino (Fitz *et al*, 1980). Por otro lado, el pH evaluado con solución de cloruro de potasio presentó valores que se consideran neutros a ligeramente ácidos (Fitz *et al*, 1980), como se muestra en la Tabla 11.

Los valores de pH en agua presentaron mayor variabilidad que en aquellos en KCl. El valor más alto de pH fue con el tejocote sin abono, mientras que el mínimo valor se presentó con el tratamiento de olivo con abono. Por otro lado, se observó una disminución en el pH en todos los tratamientos con abono orgánico, lo cual resulta un comportamiento normal debido a la naturaleza ácida de la materia orgánica.

Por lo que respecta a la relación que existe entre los valores de pH en agua y en KCl, Goijberg *et al.* (1982) señalan que los valores que se presentan en agua sólo indican la acidez activa, esto se refiere a la concentración de H⁺ en la solución que se encuentra en equilibrio con la fase sólida del suelo. Mientras que el pH en solución con KCl está relacionada con la acidez activa y la intercambiable. Así también, la medición con KCl elimina las diferencias producidas por la presencia de sales en el suelo y los efectos que la precipitación pudiera tener en el lavado o concentración de cationes. Esto indica que cuando se presenta un valor mayor en el pH con solución acuosa, con respecto al pH con KCl, el material presenta un alto contenido de minerales de carga variable, los cuales son principalmente óxidos e hidróxidos. Por lo tanto, en el tepetate la acidez activa fue casi nula, ya que se presentaron concentraciones básicas, por otro lado, los resultados indican también, que la mineralogía del material puede estar constituida por minerales de carga variable, ya que se presentan cambios significativos entre las dos determinaciones (Goijberg *et al.*, 1982).

Posteriormente, en el análisis estadístico se presentaron diferencias significativas en la determinación de pH en agua ($p > F 0.0203$) a diferencia del pH en KCl, ($p > F 0.3715$) (Ver anexo I). En la prueba de T de Student para conocer en cuales de los tratamientos se presentaron dichas diferencias, se observó que fue en los testigos con abono y sin abono ($p > F 0.0020$). Por otro lado, en los tratamientos en donde se presenta la interacción de especies vegetales con abono y sin abono no hubo respuesta significativa en el pH. La gráfica 2 muestra que las diferencias entre tratamientos está dada por la presencia de materia orgánica.



Gráfica 2. Testigo con y sin abono para el pH en agua

Capacidad de Intercambio catiónico total (C.I.C.T)

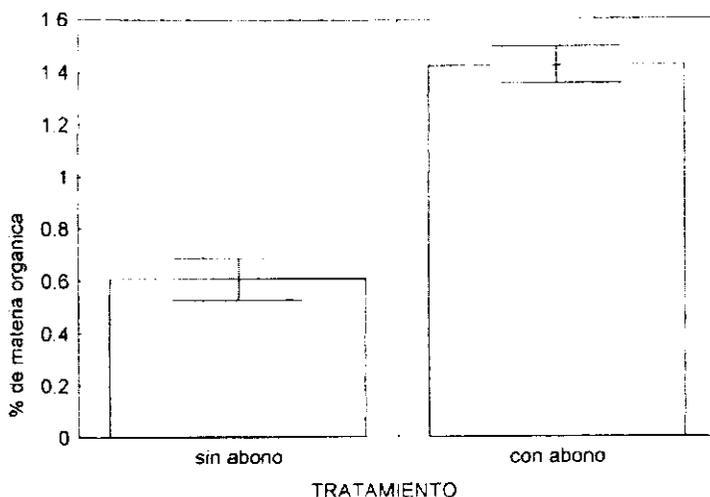
Los tratamientos presentaron valores de CICT que oscilan entre 10.2 y 13.6 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$, los valores se consideraron moderados (Fitz et al, 1980). La capacidad de intercambio catiónico total presentó muy poca variabilidad entre tratamientos. Los valores más altos con respecto al testigo se presentaron en los siguientes tratamientos: Membrillo con abono, membrillo sin abono, tejocote sin abono mientras que los tratamientos que presentaron valores por abajo del testigo fueron: Durazno sin abono, olivo sin abono e higuera con abono (**Tabla 11**).

Este parámetro no presentó diferencias significativas en el análisis de varianza ($p > F 0.665$). Estudios en tepetate reportan resultados superiores a 15 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ (Zebrowski et al 1997) por lo que el material se puede considerar que presenta valores bajos en CICT. Por otro lado, los valores tan cercanos que presentaron los tratamientos están sustentados por los resultados de textura, en donde no hubo variación entre los porcentajes de limo y arcilla en los tratamientos (Fitz et al, 1980) (**Tabla 11**).

Materia orgánica

Este parámetro resulta ser un buen indicativo de cambio en los tepetates, ya que su contenido es casi nulo en los tepetates que se han sido estudiados (Etchevers, 1996). En este trabajo, la materia orgánica presentó valores extremadamente pobres en el material original, mientras que con los tratamientos de testigo con abono e higuera con abono el porcentaje se incremento hasta llegar a ser moderado (**Tabla 11**).

Echevers (1996); Murray et al 1992; Fitz et al. 1980 indican, que al presentarse valores bajos en el porcentaje de materia orgánica, probablemente la actividad biológica sea limitada, por lo que se puede suponer que en el material original, había escases de fósforo y nitrógeno. El análisis de varianza ($p > F 0.05$) destaca que la materia orgánica presentó diferencias significativas con los tratamientos aplicados. Posteriormente, los valores de la Tstudent reflejaron que tales diferencias se presentaron con el tratamiento de abonado y destaca que en los tratamientos de testigo con y sin abono las diferencias fueron altamente significativas ($p > F 0.005$). La gráfica 3 muestra los cambios entre los dos tratamientos, en donde la diferencia es de una unidad. Por lo que respecta a los tratamientos con presencia de especies frutales, no mostraron cambios estadísticamente significativos.

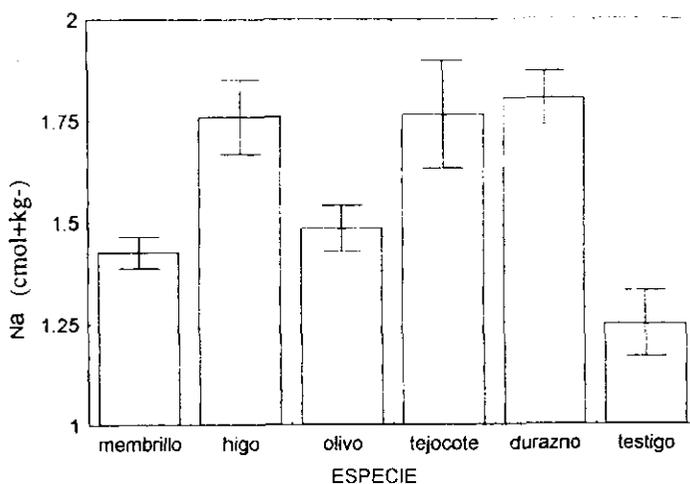


Gráfica 3. Porcentaje de materia orgánica para los tratamientos

Bases intercambiables

Los resultados de las bases del tepetate mostraron, que el calcio con presentó valores altos para la mayoría de los tratamientos (valores arriba a 4 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$) (**Tabla 11**). Los tratamientos que presentaron valores por arriba del testigo fueron: membrillo con abono, durazno sin abono y olivo sin abono, los valores más bajos se evaluaron en los siguientes tratamientos: membrillo sin abono, higuera con y sin abono. Por lo que respecta al análisis de varianza, las diferencias no se consideraron significativas ($p > F$ 0.4594). Así mismo, el magnesio presentó valores altos, al igual que el calcio no resultó significativo ($p > F$ 0.2537) (**Ver anexo I**). Todos los tratamientos presentaron valores menores que el testigo (**Tabla 11**).

El potasio y el sodio presentaron valores medios. En los valores del sodio solo el testigo con abono obtuvo valores por debajo del testigo, para el potasio, los tratamientos de higuera sin abono y membrillo con abono presentaron valores por abajo del testigo (**Tabla 11**). En el estudio estadístico el sodio presentó diferencias significativas ($p > F$ 0.0037). El análisis de varianza indica que las diferencias fueron por efecto de las especies vegetales, es decir, se presentaron cambios en presencia de especies frutales sin abono ($\text{Prob} > F$ 0.0207). Para conocer con cual de las especies se presentaron diferencias se utilizó una T de student. Esta prueba mostró que todas las especies frutales utilizadas en el experimento presentaron cambios en el sodio, a excepción del membrillo. Durazno ($p > F$ 0.0085), higo ($p > F$ 0.0311), olivo ($p > F$ 0.0573) y el tejocote ($p > F$ 0.0271). La gráfica 4 muestra de manera cuantitativa la tendencia de los resultados con respecto al sodio.



Gráfica 4. El comportamiento del sodio con respecto a los diferentes tratamientos

Tabla 11. Valores obtenidos para los parámetros químicos evaluados

Tratamientos	pH	pH	Materia Orgánica (%)	CICT (cmol+kg-)	Bases intercambiables (cmol+kg-)			
	H ₂ O	KCl			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Testigo sin abono	8.24	7.33	0.54	11.33	4.20	4.80	1.37	2.15
Testigo con abono	8.13	7.43	1.44	11.60	4.3	3.16	1.13	2.46
Membrillo sin abono	8.06	7.30	0.55	11.80	2.32	2.26	1.41	1.98
Membrillo con abono	8.10	7.33	1.40	10.86	5.00	3.86	1.43	2.68
Higuera sin abono	8.26	7.30	0.32	11.40	3.90	3.56	1.67	1.93
Higuera con abono	8.30	7.30	1.40	10.46	3.40	3.46	1.84	2.50
Olivo sin abono	8.10	7.26	1.01	10.20	3.36	3.86	1.50	5.70
Olivo con abono	8.03	7.33	1.55	13.60	4.56	3.30	1.46	2.25
Tejocote sin abono	8.30	7.33	0.73	10.66	4.00	3.10	1.71	2.20
Tejocote con abono	8.23	7.36	1.37	12.33	4.50	4.30	1.81	2.83
Durazno sin abono	8.20	.36	0.48	10.30	4.73	4.00	1.90	2.50
Durazno con abono	8.16	7.36	1.38	10.60	4.10	3.96	1.70	2.55

9. DISCUSION

Los resultados descritos mostraron que, especies frutales como el higo, tejocote, membrillo, durazno y olivo y el abono orgánico de ovino; provocan cambios que favorecen la agregación en el tepetate.

Para que se lleve a cabo proceso de agregación es necesario que las partículas minerales y el material orgánico conformen una unidad (Greenland, 1994; Baver et al., 1980; Primavesi, 1980). Por lo que se refiere al tepetate utilizado, se fragmentó para obtener una distribución en los tamaños, lo que corresponde a la fase orgánica, esta estuvo representada por la presencia de frutales y la adición de abono orgánico en los tratamientos correspondientes.

Para favorecer la agregación en un material predominantemente mineral como el caso del tepetate, es necesario la presencia de biota para favorecer física, química y biológicamente este proceso (Trowse, 1994; Tisdall, 1994; Primavesi, 1980) Las especies frutales que se utilizaron para el experimento fueron especies que de acuerdo con sus características morfológicas y estructurales (Martínez et al., 1994) destacan por ser resistentes y tolerantes a condiciones edáficas adversas, a diferencia de otras especies que se pudieran ver limitadas en el crecimiento y desarrollo en presencia del tepetate.

Los frutales fueron despojados del tepetate para evaluar los cambios ocurridos con los diferentes tratamientos; en este proceso se observó que las especies vegetales presentaban interacciones entre el sistema radical, el tepetate y el abono orgánico, es decir, las raíces envolvían al material (**Foto 9**), característica del proceso de agregación, en donde el crecimiento radicular comienza a empaquetar mecánicamente partículas minerales y orgánicas (Oades, 1993; Bennie, 1993; Primavesi, 1980).

El proceso de agregación se hizo evidente de manera cualitativa en los tratamientos con presencia de especies frutales, en donde la unión entre el sistema radical y el material mineral presentó procesos de interacción, así como también en los correspondientes tratamientos con adición de abono orgánico. Estas uniones entre la fase orgánica y la inorgánica es lo que se denomina agregación (Greenland, 1994; Tisdall et al. 1994, Oades, 1993; Fitz et al., 1982,; Primavesi, 1980; Baver et al. 1982).

Sin embargo, en el proceso de formación de agregados se involucran innumerables mecanismos físicos, químicos y biológicos que constituyen un proceso dinámico y complejo Skidmore (1992), estos mecanismos y procesos pueden ser cuantificables si se estudian los cambios en las características químicas y físicas, que en su mayoría se realizaron en este trabajo.

La unión entre el sistema radical y el tepetate se pudo llevar a cabo por procesos mecánicos y químicos, aunque muchas veces es difícil distinguir y cuantificar estos procesos por separado. De acuerdo con Primavesi (1980) ésta unión entre las partículas se inicia debido al crecimiento radical que produce un mayor contacto superficial entre la planta y la fase mineral. Por su parte, Murray et al., (1993) destacan la importancia del

crecimiento de las raíces y a la vez, al proceso químico de exudación de cementantes orgánicos de naturaleza polar a través de las células radiculares, que forman puentes entre los cementantes inorgánicos como hierros, óxidos y sílice. Estos puentes constituyen el enlace entre la planta y el tepetate.

Por otro lado y formando parte del proceso de agregación, el efecto mecánico de la raíz, así como la hidrólisis entre otros factores químicos conllevan a la disgregación del material mineral (Fitz *et al*, 1980) para posteriormente interactuar con la fase biológica. El proceso de disgregación resulta de la fracturación de tepetate, para originar fragmentos menores en diámetro y así presentar un área específica de contacto mayor (Skidmore, 1992).

El proceso de disgregación se cuantificó en todos los tratamientos, a excepción del membrillo sin abono. En todos los tratamientos se presentó donde una disminución en el porcentaje de fragmentos >10mm con respecto a los tratamientos sin frutales (**Tabla 3**), lo que implica que el tepetate se disgregó por el efecto radical de la planta y las condiciones en las que se mantuvo el experimento. En los demás tamaños de fragmentos no fue tan evidente este proceso.

Tisdall (1982) propone un modelo de 4 estadios en el proceso de agregación, en el cual, los agregados se diferencian por el tamaño. La fase inicial de agregación se da en fragmentos menores de 0.2 micras hasta llegar a los 2mm. De acuerdo con este modelo y relacionándolo con los porcentajes de agregación en seco obtenidos (**Tabla 3**), se observó como los fragmentos < 0.25mm y de 0.5 a 0.25mm tuvieron un porcentaje bajo, en relación con los otros tamaños de fragmentos, lo que representa que la probabilidad de formación de agregados fue mínima en todos los tratamientos. En los fragmentos de 3 a 2 mm se cuantificó el mayor porcentaje en relación a los demás tamaños; en otros trabajos (Velázquez, 1994; Velázquez, 1987) se presentó la misma tendencia, lo que probablemente implica que este tamaño manifiesta una estabilidad entre las fuerzas de agregación que se originan en tamaños menores a 2mm y las fuerzas de disgregación presentes al inicio de la agregación en tamaños mayores a 3mm.

Por lo que respecta a la estabilidad de agregados, la tendencia fue similar a la reportada en los resultados de agregación en seco (**Tablas 3 y 4**). Los fragmentos >10mm, de 10 a 7mm y de 7 a 5mm corresponden a los valores obtenidos en los tamaños > 5mm. En los demás tamaños se observó un porcentaje mayor con respecto a la agregación en seco, lo que refleja el proceso de disgregación por efecto de los tratamientos. A excepción de los fragmentos más pequeños, que en este tamaño el porcentaje disminuye, lo cual indica que la agregación que se desarrolló corresponde a las etapas iniciales de este proceso (Tisdall,1994). Por otro lado, si se comparan los resultados en los tamaños más pequeños de fragmentos, en ambas determinaciones (agregación en seco de 0.5 a 0.25 y < 0.25mm y la estabilidad de agregados en los tamaños de 0.5 a 0.25mm) se obtuvieron valores menores en la estabilidad, lo que manifiesta que no todos los fragmentos de estos tamaños son estables en agua.

Para que se presente la estabilidad de los agregados es necesaria la presencia de material tanto orgánico como inorgánico, además de microorganismos que promueven la presencia de poros y la unión entre partículas (Oades, 1993; Nadler, 1993; Oades, 1992). Las características de la estabilidad de los agregados son diversas, Tisdall (1992) indica que la estabilidad se presenta en tamaños que oscilan entre 1 a 10 mm; si se observa el porcentaje de fragmentos en los tamaños de 1 a 10 mm en relación a la suma total de los restantes fragmentos, la proporción resulta menor, por lo que la probabilidad de que se presenten agregados estables es mínima.

Por otro lado, Oades (1993) y Primavesi (1980) atribuyen la estabilidad de los agregados a la presencia de materia orgánica y microorganismos como bacterias, hifas de hongos, filamentos de algas, radículas y raíces de plantas, así como a lombrices y larvas de insectos. Su presencia es sin duda indispensable tanto para la formación como para la estabilidad de los agregados. Si se analiza la influencia de estos promotores en el estudio, se establece que en el testigo los porcentajes de materia orgánica fueron mínimos, por abajo del 1% sin embargo, en presencia de frutales y estiércol de ovino se obtuvieron resultados de medios a moderados, por lo que el efecto de la materia orgánica se hizo presente. Por lo que se refiere a microorganismos en general, no se evaluó la diversidad ni tampoco la densidad, pero no se puede descartar la presencia de microorganismos en el abono orgánico y en las raíces de las especies frutales. La presencia de lombrices y larvas no se observó en ninguno de los tratamientos.

Con base en lo anterior, se puede establecer que la presencia de abono y especies frutales favorecieron tanto la formación como la estabilización de agregados, sin embargo, el tiempo de establecimiento del experimento fue poco, ya que para la presencia e interacción de factores y promotores de la agregación se requiere tanto de diversidad como de poblaciones de microorganismos que promuevan la generación de energía suficiente que resulta indispensable para la producción de carbono y éste ser utilizado por organismos secundarios. Estos organismos secundarios intervienen de manera determinante en originar las uniones entre partículas y en la formación de poros en los agregados, lo que generan la estabilidad de los mismos (Oades, 1993). Entonces, para que se lleve a cabo el proceso de agregación y estabilidad en el tepetate estudiado, son necesarios varios factores que a su vez se involucren en una dinámica, en un tiempo mayor de 6 meses.

Las determinaciones para conocer de manera directa la agregación del tepetate, mostraron resultados que indican tendencias, que ayudan a descifrar el proceso de agregación. Aun sin que se presentaran diferencias estadísticamente significativas en la determinación del porcentaje de agregados en seco y en el porcentaje de estabilidad de agregados, se evidenciaron procesos que manifiestan la transformación del tepetate para la formación de unidades con el material orgánico y el establecimiento de las condiciones necesarias para la presencia de microorganismos primarios y secundarios.

Por otro lado, se evaluaron características que muestran de manera indirecta las tendencias que el tepetate presentó con respecto al proceso de agregación, tal es el caso de la textura, en donde el tepetate contiene cantidades apropiadas de arcilla para cumplir con el primer estadio de agregación que, de acuerdo con Tisdall (1994) es el tamaño de la fase mineral necesario para originar la unión entre las partículas del tepetate y el material orgánico. Sin embargo, y debido a las características del tepetate, la fracción correspondiente a la arcilla y limo se presenta cementada, originando porcentajes elevados de arena, disminuyendo así las cantidades de arcilla y limo.

En este rubro es importante mencionar, que los frutales utilizados, destacaron por adaptarse satisfactoriamente a las condiciones establecidas, por lo que, para que la planta lograra mantenerse y desarrollarse en el tepetate fue necesaria la acción mecánica del sistema radical, lo que origina la ruptura de los fragmentos de tepetate (Murray *et al.* 1993; Oades, 1993; Oades, 1992; Tisdall, 1982; Fritz *et al.* 1980). Entonces, si el tiempo de permanencia del experimento fuese mayor, probablemente el efecto de las raíces con respecto al tepetate pudiera provocar un aumento en la fracción arcilla, por lo que las probabilidades de formación de agregados se incrementarían, según con lo descrito por Tisdall (1982). Por otro lado, cabe destacar que aunque todos los tratamientos en presencia de frutales resultaran con una textura arenosa, el tratamiento de membrillo con abono presentó una textura arenosa migajosa, en donde se pudo observar al despojar al frutal del tepetate que el membrillo fue el que presentó una interacción mas fuerte y una raíz mas desarrollada que el resto de los frutales.

Por las características físicas y químicas del tepetate como son: densidad real y aparente alta, bajos porcentajes de limo y arcilla, así como bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Zebrowski *et al.* 1997; Etchevers, 1992; Quantin, 1992; Peña *et al.* 1992) los procesos de agregación en el tepetate resultan ser mecanismos que requieren de mayor tiempo, por lo que los resultados se ven reflejados a mediano o largo plazo.

La densidad aparente es un parámetro relacionado con la estructura del suelo; sus valores determinan de cierta forma la compactación o consolidación del material. En este caso, el tepetate presentó valores altos ya que la densidad aparente también es alta, lo cual concuerda con la estructura masiva reportada para tepetates (Peña *et al.* 1992; Hillel, 1982; Primavesi, 1980). Sin embargo, bajo los tratamientos con presencia de especies frutales, los valores de densidad aparente disminuyeron.

La densidad aparente resultó ser un parámetro estadísticamente significativo en la interacción especies vegetales-abono orgánico. En esta interacción, solamente el tratamiento de olivo con abono presentó estas diferencias (**gráfica 1**). Estos resultados sugieren que el efecto que el abono ejerce junto con el olivo al cabo de seis meses, contribuye a disminuir el valor de densidad aparente en el tepetate, lo que demuestra por un lado, que el olivo fue la especie que presentó los mejores beneficios para establecer condiciones que aumenten el espacio poroso (**gráfica 1**). Por lo que, según Primavesi (1980), la presión ejercida por parte de las raíces al crecer y desarrollarse, junto con los

exudados de la planta, permiten las condiciones necesarias para que el espacio poroso aumente, disminuyendo así la densidad aparente. También cabe destacar que las condiciones de invernadero propiciaron procesos de hidrólisis constantes.

Por lo que respecta a las cualidades de los poros, que son los responsables de la disminución de la densidad, no se evaluaron los tipos de poros que se presentaron, sin embargo, se encuentra implícito, la relación espacio-volumen (Fitz et al. 1980). En esta relación se presentan dos factores: los sólidos que se encuentran representados por los minerales del tepetate y, el espacio que existe entre los minerales. Este espacio poroso se encuentra representado por micro y macroporos (Oades, 1993; Oades et al. 1992; Tisdall, 1980). Estos poros representan diferentes cualidades en los suelos, por un lado los microporos destacan una actividad microbiana y por otro, los macroporos indican presencia de oxígeno en el suelo. Por lo tanto, se puede especular la presencia de microorganismos que pudieran estar presentes en las raíces del olivo o que posiblemente se encontraban en el abono orgánico (Oades, 1993).

Por lo que respecta a la textura, cabe mencionar que aún considerando que el tiempo de evaluación fue corto, los cambios en el porcentaje de tamaños de partículas, suelen ser lentos ya que los tamaños están determinados por el tipo de componente y relacionado a su vez, por la dureza del mismo (Fitz et al. 1980). Por lo tanto, cambios benéficos en la fracción granulométrica del tepetate serían: un aumento en la fracción arcilla (Zebrowski, 1997; Zebrowski, 1992; Quantin, 1992; Peña et al. 1992).

Uno de los principales procesos que se llevan a cabo en la recuperación de tepetates para la producción agrícola es fragmentar su estructura masiva (Salvador et al., 1992; Arias, 1992; Pimentel, 1992), por un lado, para inducir las uniones entre la fase mineral y orgánica y por otro por que al fragmentar el tepetate, la superficie de contacto es mayor, y el proceso de intemperismo se acentúa provocando que el cementante pueda ser eliminado por lavado e inducir que los procesos físicos, químicos y biológicos actúen favoreciendo la disgregación del tepetate.

Por lo tanto, los cambios en la textura del tepetate se ven influenciados por procesos físicos, químicos y biológicos que dependen del tiempo de acción para obtener un aumento en la proporción de la fracción de limo y arcilla. Cabe destacar que los porcentajes de estas dos fracciones se encuentran presentes en el tepetate pero por razones de unión entre partículas por efecto del cementante o consolidación no actúan como tal.

Los procesos físicos antes descritos, son también catalogados como procesos inherentes a la formación de agregados, ya que para que el porcentaje de poros en un agregado sea alto, se requiere de partículas del orden de los limos y las arcillas para conformar la unión entre ellas y la materia orgánica. Posteriormente la formación de agregados, así como la estabilización de los mismos propician las condiciones para un cambio en la estructura en el material (Nadler et al. 1993; Oades, 1992; Peña et al. 1992; Diné, 1992; Tisdall et al. 1982; Hiller, 1982; Primavesi, 1980)

De acuerdo con los resultados de pH en solución acuosa, se destaca que el tepetate presenta alcalinidad moderada, por lo que si se relaciona con la disponibilidad de nutrimentos, se puede decir que el potasio, azufre, calcio y magnesio se encuentran en el rango de asimilación óptima, mientras que el nitrógeno disminuye su grado de asimilación y por último el fósforo, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc muestran dificultades para que la planta, con estos valores de pH los asimile de manera adecuada. (Murray et al 1993; Ortiz et al 1990; Goijberg et al 1982; Fitz et al 1982). Sin embargo, cabe mencionar que en un período de 6 meses de experimentación, los valores de pH disminuyeron de manera significativa, por lo que el tepetate presentó procesos de acidificación con los cuales la optimización de la asimilación de los nutrimentos podría ser posible en períodos más largos de experimentación bajo condiciones en donde el abono orgánico esté presente.

Sin embargo, el pH se considera asociado y muchas veces es determinado por la cantidad de materia orgánica (Murray et al., 1993; Fitz et al. 1980; Primavesi. 1980). Los tratamientos en donde la presencia de abono orgánico y los valores de pH resultaron significativos se cuantificó en ausencia de especies vegetales. Por lo que se infiere que, el abono orgánico acidifica el material, pero en presencia de especies vegetales ésta acidificación se contrarresta por el efecto de los frutales, probablemente por acción de la raíz y los exudados (Ortiz et al. 1990)

La acidez del tepetate en presencia de materia orgánica favorece reacciones químicas de hidrólisis, con las cuales se puede llevar a cabo la transformación de minerales e iniciar la intemperización. Con ello comienzan procesos como cementación de las partículas minerales y comenzar la unión entre partículas orgánicas e inorgánicas que propician el proceso de agregación (Etchevers et al., 1997; Murray et al., 1993; Fitz et al., 1982).

En lo correspondiente a la materia orgánica, el abono se proporcionó con el fin de incrementar el contenido de compuestos orgánicos. El aumento en el porcentaje de materia orgánica, evaluado como altamente significativo en el estudio, indica que las características físicas del tepetate pueden mejorarse. Estas características son: aumentar la retención de agua y disminuir el efecto del estrés hídrico, para ayudar al establecimiento de plantas y mantener poblaciones de microorganismos y macroorganismos para establecer la dinámica necesaria para la formación de agregados (Quantín, 1997; Ferrera-Cerato et al., 1997; Navarro, 1997; Echevers et al., 1997; Pimentel et al., 1992). Por otro lado Ortiz et al., (1990) establece que el abono al descomponerse, genera materia orgánica que es utilizada por los organismos del suelo y los asociados a la planta para su nutrición. Estos organismos desprenden CO₂ que al unirse a los hidrógenos que componen los enlaces de carbono de la materia orgánica forman ácido carbónico HCO₂, que en ocasiones representa el elemento de acidificación en el material.

Los cambios en contenido de materia orgánica se presentaron con los tratamientos sin frutales. Los valores pasaron de pobres a ligeramente pobres, lo cual explique que al añadir abono orgánico, el material se abastece de fuentes de carbono (**gráfica 3**). Por lo que respecta a la interacción especies vegetales y abono orgánico no hubo respuestas significativas, probablemente el carbono originario del abono fue utilizado, en el caso de los tratamientos con especies frutales, por microorganismos asociados a la raíces de los frutales o a la poca fauna que pudiera contener el material (Ortiz *et al.* 1990) como por ejemplo: hongos, bacterias, actinomicetos, algas, larvas de insectos y protozoarios Oades (1993).

Aunque no se pudo cuantificar la presencia de microorganismos en el estudio, cabe destacar que el tepetate (la fase mineral), las especies frutales (fase orgánica, fuerza mecánica), el abono de ovino (fase orgánica) y las condiciones en las que se mantuvieron los tratamientos (procesos fisico-químicos), establecen las bases para la formación de agregados, proceso en el que es indispensable la presencia de microorganismos. Por lo que se puede suponer, que tanto el abono orgánico como las especies frutales y en menor medida el tepetate, favorecieron el aumento, desarrollo y establecimiento de los mismos (Oades, 1993; Oades, 1992; Pimentel, 1992; Fitz *et al.*, 1982; Primavesi, 1980).

Los cambios originados en el incremento de sodio (**Anexo I**) presentan dos explicaciones, la primera, la influencia del agua que junto con el efecto de las raíces de las especies frutales generan reacciones en el material mineral que afectan la constitución química y física del tepetate (**ver anexo I**), en este caso, la liberación de iones de sodio posiblemente presentes en los feldespatos sódicos que se encuentran formando parte de la mineralogía del tepetate (**ver anexo II**) (Bussard, 1993; Murray, 1993; Oades, 1992; Fitz *et al.*, 1982; Tisdall, 1980).

El aumento en los valores de sodio intercambiable refleja que el tepetate está intemperizándose, por lo que este proceso propicia las condiciones para que se modifique la estructura masiva inicial. También este resultado determina que se están llevando a cabo procesos químicos de liberación y adsorción de cationes lo cual puede ser debido al efecto de incorporación constante de agua, factor que en las condiciones iniciales del material no predominaban.

La mayoría de las especies utilizadas presentaron el mismo comportamiento a excepción del membrillo, que probablemente no ejerció la suficiente presión para con el material. La segunda explicación se le atribuye al agua de riego, la cual probablemente contenía cantidades elevadas de Na.

Las bases intercambiables, parámetro que involucra al Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ como representantes de los principales cationes o bases del suelo, se encuentran interactuando con las cargas negativas de la fase mineral, es decir, los minerales arcillosos del tepetate presentan en la capa exterior elementos cargados negativamente, estos iones atraen

cargas positivas que normalmente son las bases intercambiables; estas bases se encuentran en la solución del suelo (Nadler, 1993; Bennie, 1991; Fitz et al. 1982). Los resultados de este parámetro concuerdan con los valores de pH, en donde en la solución KCl fue menor que el de pH en solución acuosa. Esto puede deberse a la presencia de minerales compuestos en la cara exterior con cargas en su mayoría negativas como los óxidos e hidróxidos (Goijberg et al. 1982) (**Ver anexo II**).

Las bases del suelo están relacionadas con la nutrición de las plantas, sin embargo, el sodio es un catión que no se encuentra dentro de los micronutrientes esenciales para las mismas (Fitz et al., 1982). Por lo tanto, los cambios significativos que se presentaron con los tratamientos en relación al aumento de sodio no benefician nutricionalmente a la planta. Por otro lado, las bases del suelo se pueden relacionar con varios factores químicos y físicos del suelo. Hacen referencia y muchas veces constatan resultados de pH, ya que un alto contenido de bases (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{+} y K^{+}) se relaciona con un pH alcalino y con una saturación de bases elevada, así como con un alto contenido de hidrogeniones (H^{+}), lo que refleja condiciones de acidez (Ortiz et al., 1990; Fitz et al., 1982). En este caso, el tepetate presenta un pH alcalino, así como una saturación de bases arriba del 100%. Estos resultados indican que el material es rico en bases, pero cabe recordar que el material presenta en campo una estructura masiva, en donde la infiltración de agua es muy pobre y por lo tanto, no hay lavado de bases, es por ello que los resultados de saturación de bases sobrepasan el 100%. Aún en condiciones de invernadero el material se colocó en macetas con drenaje confinado, lo que impedía el lavado de bases.

10. CONCLUSIONES

Los procesos involucrados en la formación de agregados se presentaron en los diferentes tratamientos del estudio.

En los tratamientos, membrillo con y sin abono, tejocote con sin abono, olivo con y sin abono, higuera con y sin abono, durazno con y sin abono, se presentó una disminución en el porcentaje de fragmentos en los tamaños de >10mm y de 7 a 10mm con respecto al testigo. A este proceso se le denomina disgregación, que corresponde a las fases iniciales del proceso de agregación.

En los fragmentos más pequeños es decir, <0.25mm y de 0.5 a 0.25mm se presentaron valores mayores en los porcentajes de los siguientes tratamientos con respecto al testigo: tejocote sin abono, membrillo con abono, higuera sin abono y tejocote con abono. A este proceso se le denomina microagregación que se presenta en etapas iniciales en el proceso de agregación.

Se cuantifico un aumento en la porosidad de los tratamientos, especialmente en el olivo con abono, en el cual se presentó una disminución en los valores de densidad aparente. La porosidad se considera una característica inherente en el proceso de agregación, específicamente y debido a las características del tepetate resulta de suma importancia la cuantificación de esta propiedad física.

La disminución del pH en los tratamientos en presencia de abono orgánico como: tejocote con abono, higuera con abono, durazno con abono, olivo con abono y membrillo con abono, contribuyo a conocer procesos como: aumento del porcentaje de materia orgánica e hidrólisis del tepetate los cuales se llevaron a cabo en el estudio y resultan benéficos en la agregación del tepetate.

El proceso de incorporación de abono orgánico resulto benéfico para las condiciones químicas y físicas en los tratamientos ya que este tratamiento, aumento los porcentajes de materia orgánica.

El efecto de las especies frutales (*Crataegus mexicana* –tejocote-, *Ficus carica* –higuera-, *Olea europea* – olivo-, *Cydonia vulgaris* - membrillo- y *Prunus persica*- durazno) resultaron benéficas en el desarrollo del experimento, ya que todas ellas presentaron una estrecha relación de empaquetamiento del tepetate.

El tiempo de evaluación resultó ser propicio para conocer procesos inmediatos de interacción y transformación del tepetate, que corresponden a etapas iniciales en la agregación. Sin embargo para conocer procesos relacionados con la estabilidad de agregados se requiere mayor tiempo.

11. LITERATURA CITADA

- Alfaro,G.S., Oleschko,K., Meza. M.S., 1992. Rasgos micromorfológicos de los tepetates de Hueyoptla (Estado de México). Terra (Núm 10). Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 253-257.
- Argueta,V.A, Cano, A.L, Rodarte, M. 1988. Atlas de las plantas medicina tradicional. Instituto Nacional Indigenista. México.
- Arias, H. 1992. Rehabilitación de tepetates una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 309-317
- Báez.A., Ascencio.E., Prat.C., Márquez.A. 1997. Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate t3 incorporado a la agricultura de temporal. Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito Ecuador. pp 296-310
- Baumann,J., Werner,G. 1997. Erodibility of volcanic ash soils en the Central Mexican Highlands.Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito Ecuador. Pp 343-350.
- Baver,L.A y Gardner, W.R. 1980. Física de Suelos U:T:E:H:A: México D.F 529 p.
- Bennie,A.P 1991. Book in soils,plants and the invariamente. Plant Roots. Yoau Waisel. New York.
- Besoain,M.E., Sadzawka,R.A., Sepúlveda,W.G. 1992. Génesis de los suelos Ñadis, Aquands y duranguands de la región centro-sur de chile. Terra10.Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 74-88.
- Brussaard.L., Kooistra.M,J. 1993. Soil Structure/Soil Biota Interrelationships. Eisevier. New York p 450.
- Campos,A.C. 1992. Los tepetates de la Región de Xalapa, Veracruz (México). Estructura de la cubierta Pedológica Terra 10.Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 226-232.
- DeBoadt.M,F.,Hayes.M,H., Herbillon.A. 1990. Soil Colloids and their asociations in aggregates. Plenum. Press. New York. p598.
- Delgadillo,J.Ferrera,C.1997. Melliotus albus inoculado con rizhobium mellioti y aplicación de materia orgánica en la recuperación de un tepetate.). Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre 1996). Polar. Quito Ecuador. P 238-243.
- Dinel.H., Lévesque. E,M., Jambu.P., Righi. D. 1992. Microbial activity and long-chain aliphatics in theformation of stable soil aggregates. In Division S-3-Soil Microbiology y Biochemistry. Soil Sci.Soc. Am.J 563. pp 1455-1463.
- Dubroeug, D; Quantín, P; Zebrowski, C. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. Terra :7 3-12.

Dubroueuq,D. 1992. Los tepetates de la Región de Xalapa, Ver (México): Un endurecimiento de origen pedológico. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos. P233-243.

Eliseo,G. Mosqueda,L. Caballero,O. 1992. Distribución de los tepetates de la República Mexicana. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos. p 131-136.

Etchevers,J.B., Cruz,L.H., Mares,J.,A., Zebrowski.C. 1992. Fertilidad de los tepetates. I Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada (México). Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos. p 379-384.

Etchevers,J.B. 1997. Factores físicos, químicos y biológicos que afectan la productividad de los suelos volcánicos endurecidos. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos p.155-161.

Faivre,P, Gaviria,S 1992. Suelos y formaciones piroclásticas endurecidas en los Andes de Colombia.Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp 89-99

Fetcher-Escamilla.U., Flores.G,G. 1997. Propiedades físicas de suelos volcánicos endurecidos (tepetates t3) después de su habilitación, en Tlaxcala (México). Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre 1996). Polar. Quito Ecuador. pp 162-169.

Fitz et al. 1980. Suelos CECSA. México

Flach, K.W., Nettleton,W.D.,Gile,L.H y Cady, J.G. 1969. Pedocementation: Induration by silica, carbonates and sesquioxides in the quaternary. Soil Science. 6: 442-453..

Flores, R.D., González,V.A., Alcalá,M.J.R y Gama, C.J.E. 1991. Los tepetates. Geografía: Revista del Instituto Nacional de Estadística, Geografía o Informática (INEGI) 3 (4):37-42.

Flores, R,D; González, V,A; Alcalá, M,R; Gama, C. J. 1993. Suelos con fragipan de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo. El caso del noroeste del estado de Morelos, México. UNAM. Instituto de Geología, Revista. Vol 10 Num 2. Pp 151-163.

Flores R, D; Alcalá M,R y Gama,C,J. 1997 Duripans in semiwarm and temperate subhumid climate in the transmexican volcanic belt- the case of the north of the state of Morelos, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 13(2): 228-239.

Geissert, K,D. 1992. Los tepetates de Xalapa, Veracruz, (México): Relación con el relieve modelado actual y esquema cronológico. Terra 10. Suelos Volcanicos Endurecidos. pp 221-225.

Gilluly,J. Waters,A. Woodford,A. 1975 Principles of Geology. Fourth Edition. Freeman Compañy. EUA.

Greenland,D,J. 1994. Structural Organization of Soil and Crop Production. Jonh Willey. New York.

Guerrero,E.E. Luna,M,J, Caballero,O.E. 1992 Distribución de los tepetates de la República Mexicana. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos) 131-137.

González, A..A, Richard,V.R. 1992. Características espectrales de la cangahua expuesta en el Ecuador. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp 120-127.

González de Cosío, M. 1984. Especies vegetales de importancia económica en México. Porrúa. México.

Guerra de la Cruz, V., Garzón C, C.E. 1992. Crecimiento de 5 especies forestales y su relación con la recuperación de suelos en Tlaxcala, México. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp444-450

Gutiérrez, C.; Ortíz, S.C.A. 1992. Caracterización del Tepetate blanco en Tlaxcala México. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp437-443.

Hessmann, R. 1992. Micromorfológica investigations on "tepetate" formation in the "toba". Sediments of the state of Tlaxcala (México). Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp 145-150.

Hidalgo, C., Quantin, P., Elsass, F. 1997. Caracterización mineralógica de los tepetates tipo fragipan del valle de México. Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito Ecuador. pp 65-72.

Hillel D. 1982. Introduction to Soil Physics. Academic Press, Inc New York.

INEGI, 1984. Carta Topográfica. Ciudad de México escala 1:50,000 Clave E4-E39.

Jackson, M.L 1970 Análisis químicos de suelos. Omega. Barcelona España. 662p.

Lal, R., Greenland, D.J. 1979. Soil Physical Properties and Crop Production en the Tropics. John Wiley y Song. New York. 551.

Luzio, L.W, Saavedra, N.M. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos de Chile. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 60-66

Llerena, V.F., Sánchez, B.B. 1992. Recuperación de tepetates de la vertiente oriental del Valle de México. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 302-308.

Lor, R., Greenland, D.J. 1979. Soil Physical Properties and Crop Production en the Tropics. John Willey. New York.

Malagón, C. Pulido, C; Llinas, R. 1992. Genésis y caracterización de formaciones volcánicas endurecidas en paleosuelos de la sabana de Bogotá, Colombia. Terra 10: Suelos Volcánicos Endurecidos 101-106

Matías, C.S., Ferrera-Cerrato., Zebrowski, C. 1992. Respiración microbiana como un indicador de la fertilidad de los suelos agrícolas y tepetates en el estado de Tlaxcala. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp 425-429.

Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de cultura económica. México 849p.

Martínez, M. 1959. Plantas útiles de la flora mexicana. Edición Botas. México .563p

- Martínez,G.L., Chacalo,H.A. 1994. Los árboles de la Ciudad de México. UAM. México. P351.
- Murray,R.S.Quirk,J.P,1992.Interparticle forces in relation to the estability of soil aggregates.
- Nađler.A., Steinberger. Y. 1993. Trends in structure, plant growth, and microorganism interrelations in the soil. Soil Science. Vol 155. Núm 2 pp114-126.
- Navarro,H.G., Zebrowski,C. 1992. Análisis agrónómico comparativo en tepetates. Terra 10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp 451-459.
- Nimlos, T.J; Ortíz,S.C. 1987 Tepetate. The rock mat. Journal of Soil and Water Conservation 42(2): 83-86
- 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. UACH., Chapingo, México.
- Nimlos,T.J 1989. The density and strenght of Méxican tepetate (Duric Materials). Soil Science. 147:23-27.
- Nimlos,T.J., Hillely,P.A. 1990. The strengh/moisture relations and hydraulic conductivity of mexican tepetate.Soil Science Vol. 150 (1). 425-430.
- Orozco,F.Ch., Oleschko,K., Alfaro,S.G., Caballero,O.E., Rodríguez.M,P. 1992. Fabrica de algunos tepetates del estado de Aguascalientes. Terra 10. Suelos volcánicos endurecidos. pp. 248-252.
- Olivares,F.R., Márquez R. A. 1992. Aspectos socioeconómicos y agroecológicos de la recuperación de Tepetates en San Pablo Izoyoc, Edo de México. . Terra 10. Suelos volcánicos endurecidos. pp. 524-533.
- Oades,J,M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma. Vol 56 pp 377-400.
- Peña.D,H., Zebrowski.C. 1992. Caracterización física y mineralógica de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. Terra10. Suelos Volcánicos Endurecidos pp 156-163
- Pimentel.B,L. 1992. Como hacer productivos a los tepetates en México. Terra (Núm 10). Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 293-301.
- Pinherio,J. 1997. Characterización of three andosols of the Azores Archipelago (Portugal) showing differents types of indurated horizons. Suelos volcánicos endurecidos. III Simposio Internacional(Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito Ecuador. pp 116-120
- Prat,C. 1997. Síntesis del tema: Erosión, conservación e hidrodinámica. Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Ecuador. 325-330.
- Primavesi, A. 1980. Manejo ecológico del suelo. La agricultura en regiones tropicales. El Ateneo, Buenos Aires. Pp 227.

Pritchett, M.L. 1986 Suelos Forestales. Limusa. México 634pp.

Quantin, P. 1992. L'induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amérique latine: processus géologiques et pédologiques. Terra 10 Suelos Volcánicos Endurecidos pp 24-33.

Quantin, P. 1997. Caracterización, génesis y geografía de los horizontes endurecidos de suelos volcánicos. Suelos volcánicos endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito Ecuador. P 11-18.

Rosignol, J.P., Campos, A., Quantin, P. 1992. Las condiciones regionales de desarrollo de los tepetates de la zona Xalapa-Coatepec, Veracruz, México. Terra 10 Suelos Volcánicos Endurecidos. pp 210-220.

Rosignol, J., Quantin, P. 1997. Secuencia de transformación de un suelo ferralítico en tepetate silicificado en la región de Xalapa (Veracruz, México). Suelos volcánicos endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito-Ecuador . pp73-82.

Rojas, R.T. Sanchez, W.T. 1985. Historia de la agricultura en época prehispánica. Siglo XVI. Colección Biblioteca del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) México. D.F. Terra 10 Suelos Volcánicos Endurecidos. p 415-418.

Salvador, M.C., Gómez C.G., Ronald, F.C., Quintero, L.R., Santizo, R.J. 1992. Azolla caroliniana como biofertilizante nitrogenado sobre el desarrollo de Eysenhardtia polystachya en Tepetate. Terra 10 Suelos volcánicos endurecidos. pp 146-159.

Samampala, J.P 1992. Effect of Plantage and Root Penetration. Willatt. S.T. EUA.

SARH. 1988. Instrutivos para las determinaciones e interpretación de los análisis físicos de los suelos agrícolas. SARH. México.

Servenay, A., Prat, C., Sorani, V., González, E. 1997. Estudio espacial de los tepetates del eje neovolcánico metodología para un programa de investigación. Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simposio Internacional (Quito, diciembre de 1996). Polar. Quito Ecuador. pp149-154.

Singer, M.J., Southard, R.J., Warrington, D.N., Janitzky, P. 1992. Stability of Synthetic Sand-Clay Aggregates after Wetting and Drying Cycles. In Division S-5-Soil, Genesis, Morphology y Conservation. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 56 pp 1843-1848.

Skidmore, E.L., Layton, J.B. 1992. Dry-Soil Aggregate Stability as Influenced by Selected Soil Properties. Soil. Sci. Am. J. Vol 56 pp 557-561.

Soil Survey Staff. 1994. Claves para la taxonomía de suelos. Traducción de Carlos Ortiz Solorio, Ma del Carmen Gutiérrez Castorena y Jorge Luis García Rodríguez. Primera edición en español 1995. Publicación especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). Chapingo, México. 306 p.

Soil Taxonomy. 1988. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Rober E. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida. USA. 754p.

Tisdalle,S.L, Nelson,W.L 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Montaner y Simon. Barcelona. pp 760.

Tisdall,J.M., Oades,J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science. Vol 33 pp 141-163.

Tisdall,J.M. 1994. Posible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil Vol 159 pp 115-121

Thiry,M. 1992. Pedogenic silicifications: structures, micromorphology, mineralogy and their interpretation. In Terra 10 Suelos volcánicos endurecidos. pp 46-59.

Tovar T,A. 1987. Determinación del efecto de aplicación de estiércol de bovino semiseco y fresco sobre el rendimiento de cebada en suelos erosionados. In Uso y Manejo de los Tepetates para el Desarrollo Rural. UACH. México. pp 156-171

Trouse A,C 1994. Soil Physical Characteristics and Root Growth.

Vela C,G. 1998. Trabajo de Investigación I. Informe Semestral de Doctorado.

Vela C,G. 1998. Trabajo de Investigación II. Informe Semestral de Doctorado.

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 125p

Velázquez,R.A.S. 1997. Disgregación, alteración y agregación de dos niveles e trituración de Tepetates del estado de Morelos por especies vegetales perennes en condiciones de invernadero. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F

Villegas,S.M., Aguilera, H.N y Flores, D.L 1978. Método simplificados de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelos. Revista del Instituto de Geología. U:N:A:M 2(2):188-193.

Walkley, A. 1947 Critical Examination for determing orgánic carbon soils. Soil Science 63: 251-264.

Williams,B.J, 1992. "Tepetate" in 16th century and contemporary folk terminology, Valley of México. In Terra 10 Suelos volcánicos endurecidos.pp 486-493.

Willcox, J.S, Townsend,W,N. 1964. An introduction of Agricultural Chemistry. Edward Arnold. London pp 243.

Zebrowski, C. 1992. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina. In Terra (Núm 10) Suelos volcánicos endurecidos.pp 15-23.

Zebrowski, C., Quantin,P., Trujillo,G. 1997.Suelos volcánicos endurecidos III Simposio Internacional (Quito, diciembre 1996).Polar. Ecuador. pp 1-9.

ANEXO I

Análisis estadístico.

Parámetros de los diferentes tratamientos no significativos en el Análisis de Varianza.

Parámetros	Prob>F
Determinación de agregados en seco (promedio)	0.4931
Estabilidad de agregados en húmedo (promedio)	0.6319
Densidad real	0.2430
Textura	0.8959
pH en solución de KCl	0.3715
C.I.C.T	0.665
Ca ⁺⁺	0.4594
Mg ⁺⁺	0.2537
K ⁺	0.6492

Parámetros significativos en el análisis de varianza

Parámetros	Prob>F	Significancia estadística
Densidad aparente	0.0020	Significativo
pH en solución acuosa	0.0203	Significativo
Materia orgánica	0.0001	Altamente significativo
Sodio en la saturación de bases	0.0037	Significativo

Resultados de T de Student en densidad aparente.

Interacción especies vegetales abono	P > F	Significancia estadística
Test c/a-Test s/a	0.3850	No significativo
D c/a-D s/a	0.8054	No significativo
H c/a- H s/a	0.0941	No significativo
M c/a M s/a	0.4098	No significativo
O c/a-O s/a	0.0005	Significativo
T c/a-T s/a	0.8255	No significativo

Valores del Análisis de Varianza aplicado a los diferentes tratamientos en el parámetro de pH.

Tratamientos	Prob>F	Significancia estadística
Especies vegetales	0.2504	No significativo
Abono	0.0258	Significativo
Interacción	0.3290	No significativo
Especies vegetales-abono		

Resultados del la T de Student en el parámetro de pH en el tratamiento de abonado.

Abonado	Prob>F	Significancia estadística
Test c/a-Test s/a	0.0020	Significativo

Valores del Análisis de Varianza aplicado a los diferentes tratamientos en el parámetro de materia orgánica.

Tratamientos	Prob>F	Significancia estadística
Especies vegetales	0.4333	No significativo
Abono	0.0005	Significativo
Interacción	0.5020	No significativo
Especies vegetales-abono		

Resultados del la T de Student en el parámetro de materia orgánica en el tratamiento de abonado.

Abonado	Prob>F	Significancia estadística
Test c/a-Test s/a	0.0001	Altamente significativo

Valores del Análisis de Varianza aplicado a los diferentes tratamientos en el parámetro de saturación de bases (Na).

Tratamientos	Prob>F	Significancia estadística
Especies vegetales	0.0207	Significativo
Abono	0.6875	No significativo
Interacción	0.4898	No significativo
Especies vegetales-abono		

Resultados del la T de Student en el parámetro de saturación de bases (Na) en el tratamiento con las especies vegetales.

Especies vegetales	Prob>F	Significancia estadística
Durazno	0.0085	Significativo
Higo	0.0311	Significativo
Membrillo	0.2246	No significativo
Olivo	0.0573	Significativo
Tejocote	0.0271	Significativo

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

ANEXO II

Breve estudio petrográfico y mineralógico sobre el material utilizado

El color del material, comparado con el de otros tepetates, suele variar dependiendo de la composición mineralógica y el grado de alteración.

El parámetro que destaca los porcentajes en los tamaños granulométricos (arcilla, limo y arena) se encuentra en resultados y discusión, sin embargo para la caracterización del material es importante mencionar, que las diferencias en la textura con respecto a los dos métodos utilizados destacan que el material se encontraba unido fuertemente entre sí.

Con respecto a la densidad real, el material presentó un valor por abajo de la media de otros tepetates (Peña *et al.*, 1992). El valor obtenido coincide con el de materiales en donde sus constituyentes son en su mayoría minerales (Baver, 1980; Primavesi, 1980) (Tabla 12).

La densidad aparente presenta valores altos. Primavesi, (1980) reporta que en valores mayores de 1.3 g/cm³ se presenta cierto grado de compactación en los materiales. Fitz *et al.*, (1980) indican que un material se considera compacto cuando los valores de densidad aparente están alrededor de 2 g/cm³ (Tabla 12). Cabe mencionar que la técnica de la parafina, utilizada en esta valoración, es la apropiada para medir la densidad aparente de materiales endurecidos o litificados, ya que se respeta la estructura que existe entre las partículas minerales entre sí como se presentan en el campo (Peña *et al.*, 1992; SARH, 1988).

Tabla 12. Características físicas del material.

Color	Gris Rosáceo	Pardo oscuro	
	7.5 YR 7/2 en seco	10YR 4/3 en húmedo	
Textura(Boyocus)	89%	10%	1%
Arenosa	arena	limo	arcilla
Textura (Pipeta)	49.3%	27.73%	22.96%
Franco -Arcilloso- Arenoso	arena	limo	arcilla
Densidad real	2 g/cm ³		
Densidad aparente	1.69 g/cm ³		
Porosidad	15.5 %		

Evaluaciones químicas

El valor de pH en agua se consideró medianamente alcalino mientras que el valor en solución de cloruro de potasio resultó neutro (**Tabla 13**). Generalmente los valores de pH están relacionados con la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona (Fitz *et al.*, 1980). Por lo tanto, la alcalinidad del material indica que la precipitación es baja, debido a ésto la concentración de cationes se mantiene en el material, ya que no hay agente que lave o disuelva estos elementos. Los valores de precipitación reportados para la zona de recolecta (Vela, 1988), son de 100mm en época seca, lo que refleja una pérdida casi nula de cationes y por la tanto, el valor de pH se incrementa.

Por lo que respecta a la relación que existe entre los valores de pH en agua y en KCl, Goijberg *et al.*, (1982) señalan que los valores que se presentan en agua sólo indican la acidez activa, esto se refiere a la concentración de H⁺ en la solución que se encuentra en equilibrio con la fase sólida del suelo. Mientras que el pH en solución con KCl esta relacionado con la acidez activa y la intercambiable. Así también, la medición con KCl elimina las diferencias producidas por la presencia de sales en el suelo y los efectos que la precipitación pudiera tener en el lavado o concentración de cationes. Estos resultados también indican que cuando se presenta un resultado mayor en los valores de pH en solución acuosa con respecto a los valores en solución con KCl, se destaca que el material presenta un alto contenido de minerales de carga variable, los cuales son principalmente óxidos e hidróxidos (**Tabla 13**), lo cual es lo que predomina en este material.

Los valores de materia orgánica indican la presencia de carbono. En este caso el material es pobre, sin embargo, si se comparan con los valores promedio de los tepetates estudiados, el resultado es alto (Etchevers, 1997) (**Tabla 13**). Cabe destacar que el material se encontró cubierto por una capa de suelo y consecuentemente la zona de muestreo se localiza en la parte baja del cerro, por lo que los valores de esta determinación pudieran estar influenciados por procesos de depositación y de iluviación de material orgánico, dispuesto en la parte superior del terreno, lo que explica que los valores obtenidos sean altos.

La capacidad de intercambio catiónico total (CICT) se refiere a la capacidad de intercambio que presentan las arcillas y algunos limos constituyentes del suelo. Por lo que respecta al material utilizado, la CICT presenta valores medios (**Tabla 4**). Si se relaciona con la textura obtenida por el método de la Pipeta se observa que los valores apoyan el resultado de CICT, pero al relacionarlo con la textura por la técnica de Boyoucos los resultados no concuerdan. Por lo que es más probable que la textura correcta sea la evaluada por el método de la Pipeta debido al uso de pretratamientos que permiten la eliminación de cementantes. Sin embargo, cabe destacar que la técnica de Boyoucos evidenció que los fragmentos <0.2 micras estaban unidos entre sí formando arenas (fragmentos >2 micras).

Al analizar el contenido de bases en el complejo de intercambio se observó, que el magnesio y el sodio presentan valores medios y el calcio y potasio altos. Las bases por lo tanto, sobrepasan los puntos de intercambio en el material, encontrándose cationes libres debido a la alta saturación por deficiencia de procesos de lavado en el terreno, como consecuencia del clima, así como de las características físicas del material que impide la filtración (**Tabla 13**).

De acuerdo con los análisis para determinar el tipo de cementante de unión entre las partículas, se destaca que la cementación que se presenta no es por sílice, ya que el material conservó la estructura después de 24 horas de introducido en una solución de hidróxido de sodio concentrado, por otro lado, al introducirlo en solución de HCl tampoco se colapsó. Estos análisis se consideran determinantes para evaluar el tipo de cementante involucrado en el endurecimiento (Nimlos, 1987; Soil Survey Staff, 1984) .

Tabla 13 . Valores de las evaluaciones químicas del Testigo Absoluto

pH en agua	8.2
pH en KCl	7.1
Materia orgánica (%)	0.7
C.I.C.T (cmol*kg)	11
Bases Intercambiables (cmol*kg)	Ca ⁺⁺ 5.4 Mg ⁺⁺ 2.3 Na ⁺ 1.0 K ⁺ 5.7
Saturación de Bases (%)	130.9
Análisis de Cementantes	No reacciono con HCl No se colapsó en solución de NaOH después de una hora.

Indices de intemperismo

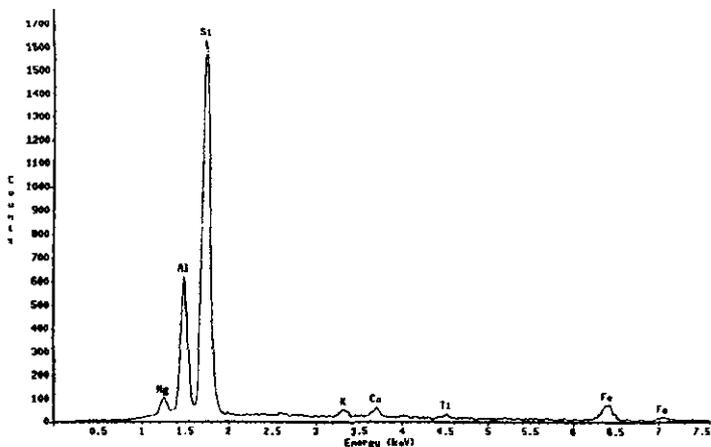
De acuerdo con los resultados obtenidos en la determinación mineralógica, mediante microscopía de barrido con difracción de rayos X; y por lo que respecta al mapeo petrológico (**Tabla 14**), se puede observar que el material presenta un intemperismo bajo (los valores de las relaciones, en ninguno de los casos llegan o se acercan a la unidad). La relación de $SiO_2/Na_2O + K_2O + CaO + MgO$ indica valores bajos de bases con respecto a la sílice. La sílice se presenta de manera abundante, en puntos específicos del mapeo, esto es debido a la presencia de cristales de cuarzo (**Gráfica 4**), sin embargo, estos se presentan de manera esporádica. De acuerdo con la descripción petrográfica el material se considera intermedio de composición andesítica. También es relevante mencionar que los procesos pedológicos como lixiviación y lavado de bases son limitados.

Así mismo se observa en la **Tabla 14** que los resultados de la relación Si/Al son altos, lo que indica que prácticamente no hay neoformación de arcillas. De igual modo, que la porosidad en el material es mínima lo que se corrobora con los estudios físicos (**Tabla 3**), e impide que arcillas iluviadas estén presentes. Todos estos datos permiten interpretar que el intemperismo que ha sufrido el material estudiado es mínimo.

Consecuentemente, la desilificación del material también es mínima, por lo que los cutanes de sílice (silanes) son muy escasos, sólo se localizan en poros o fisuras y tienen dirección preferentemente vertical, así como un desarrollo muy débil (**Foto 10**).

Tabla 14. Índices de Intemperismo (Curtis, 1990)

Puntos	Relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Relación $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$	Relación $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} +$ $\text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$
1	4.6203	7.2093	6.9796
2	4.7455	11.3493	8.4329
3	5.3010	28.3926	7.6921
4	6.3840	34.9575	10.2633
5	6.9958	34.6133	13.2890
6	7.0148	35.7945	11.9315
7	7.3968	47.9062	14.3774
8	7.4191	41.2338	14.5816
9	7.6685	72.9647	10.3366



Gráfica 4 . Cantidades de los principales componentes del material por microscopía de barrido.

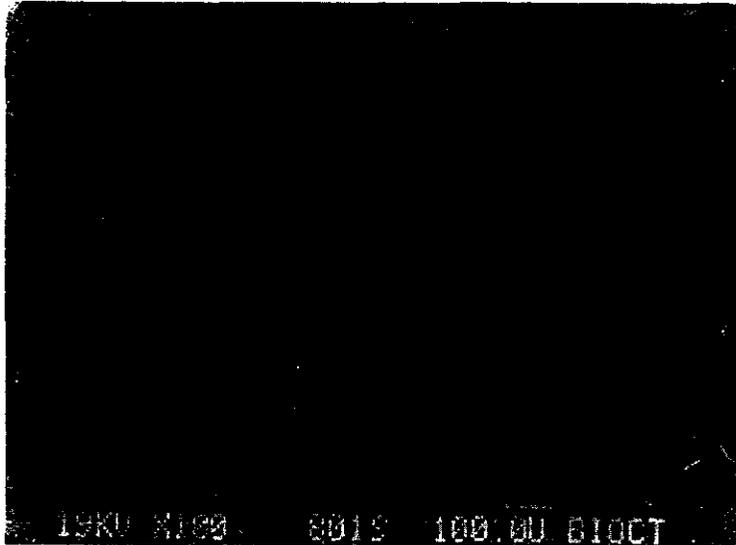


Foto 10. Imagen del material por microscopía electrónica de barrido

Descripción petrográfica del material

Con ayuda de secciones delgadas de 3mm de espesor, se realizó la observación al microscopio petrográfico (Foto 11).

El material se compone de una matriz de vidrio devitrificada, con fragmentos de roca. En cuanto a los minerales principales que se observaron en el material se encuentran las plagioclasas angulosas y subangulosas, feldespatos de potasio (sandino) y escasos fragmentos de cuarzo. Por lo que respecta a los minerales secundarios, éstos están representados por hematita, betitas de cuarzo, minerales arcillosos, magnetitas y cloritas. Los minerales accesorios se encuentran conformados por fragmentos de micas, gran cantidad de biotitas, piroxenos, hornablenda y zircones.

La matriz bajo estas condiciones se relaciona con depósitos de caída de cenizas tipo lapilli y no con flujos de materiales, ya que no se observan depositaciones sublaminares o en forma de ondulaciones, características derivadas de materiales originarios de flujos piroclásticos. Los fragmentos de roca que se encuentran embebidos en la matriz se distinguen por la presencia de minerales de feldespato y plagioclasas con halos blancos, característica de alteraciones en los bordes del mineral. También se observan hematitas y se distinguen fragmentos de feldespatos sericitizados, conformando principalmente formas subhedrales.

En el trabajo elaborado por Campa (1965), destaca que las rocas que yacen en la Sierra de Guadalupe se presentan sin orden alguno, característica distintiva de este tipo de asociación. Se pueden encontrar basaltos junto con andesitas y dacitas formando contactos meramente locales como en la zona del Cerro Vicente Guerrero.

También destaca el orden de abundancia, en donde la serie de las andesitas se presenta en mayor proporción, caracterizada por una textura porfírica y constituida por plagioclasas sódicas, asociadas a minerales ferromagnesianos como la hornablenda, así como plagioclasas cálcicas, biotitas, andesitas con abundancia de biotita, andesitas porfíricas y tobas andesíticas. Estas últimas son muy abundantes, aunque en ciertos casos suelen encontrarse alteradas.

La serie de los basaltos ocupa el segundo lugar en orden de abundancia, en donde destacan los derrames de basalto con textura afanítica, alterado y oxidado, por lo que es difícil describirlos. Las dacitas y riolitas que de acuerdo con Campa, (1965) se presentan de manera aislada y su distribución es muy reducida, cuando se encuentran lo hacen en forma de piroclastos de plagioclasas, piroxenos, anfíboles y cuarzo intersticial en abundancia.



Foto 11. Vista del material en microscopio petrográfico

Discusión

El material utilizado en este experimento se caracterizó con el fin de conocer el tipo de cementante. De acuerdo con la descripción de la zona de muestreo (Vela, 1998; INEGI, 1982) y con lo establecido por Campa (1965) referente a la formación de la Sierra de Guadalupe, el material estudiado es de origen volcánico.

Los resultados que se obtuvieron en estos análisis muestran características relacionadas con tepetates de tipo duripan, por ejemplo los resultados físicos de textura, densidad real, densidad aparente y porosidad, sin embargo, los resultados referentes al índice de intemperismo y petrográficos destacan que el material presenta un intemperismo muy bajo siendo esta característica alta en los tepetates debido a procesos pedológicos, y por otro lado, la matriz del material se consideró de cenizas volcánicas; en

este rubro los tepetates de origen volcánico muestran una matriz de sílice amorfa (Zebroski, 1997; Quantin, 1997; Hidalgo et al., 1997; Nimlos, 1987; Nimlos, 1987).

Al realizar la descripción petrográfica se determinó que el material no presenta sílice amorfa entre las partículas, sino que la naturaleza de esta unión esta dada por una matriz devitrificante en la que se encuentran fragmentos de roca con minerales alterados (**Foto, 11**), lo que se considera que el material se consolidó al momento del depósito y por lo tanto el material se caracterizó como una toba (Campa, 1965).

Por otro lado, el material presenta minerales primarios de la serie de los feldespatos y plagioclasas, minerales secundarios de hematita y clorita y los estudios petrográficos elaborados en la zona, confirman las características de una toba de origen andesítico dacítico.

Estudios sobre clasificación y génesis, muestran que los llamados tepetates son materiales volcánicos endurecidos, por lo tanto, las tobas se consideran como algunos de los materiales que conforman a los tepetates (Zebrowski et al., 1997; Quantin, 1997; Dubroeuq, 1992; Nimlos 1989). Sin embargo, no todas las tobas volcánicas son tepetates, ya que para que se considere como tal son necesarios procesos pedológicos como los descritos por Quantin, (1997); Thiry, (1992); Luzio et al (1992); Besoain et al.(1992); Hessmann (1992); Nimlos (1989),entre otros.

Por lo tanto, el material estudiado es una toba de composición andesítica dacítica en donde, de acuerdo con los rasgos de intemperismo no presenta procesos edafológicos.