

185  
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EFFECTO DE DIFERENTES CULTIVOS SOBRE LA  
DISGREGACION Y ALTERACION DE TEPETATES DEL  
ESTADO DE MORELOS EN CONDICIONES  
DE INVERNADERO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**B I O L O G O**  
P R E S E N T A :  
**ALMA SOCORRO VELAZQUEZ RODRIGUEZ**

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. DAVID FLORES ROMAN



MEXICO, D. F.

1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





## **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 está 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

**M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE**

Jefe de la División de Estudios Profesionales

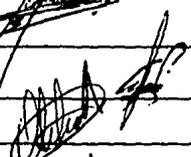
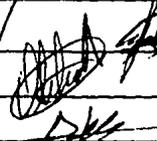
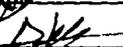
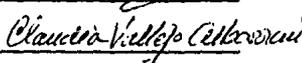
Facultad de Ciencias

Presente

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron la pasante(s) Velázquez Rodríguez Alma Socorro

con número de cuenta 8537530-7 con el Título: Efecto de diferentes cultivos sobre la disgregación y alteración de tepetates del estado de Morelos en condiciones de invernadero.

Otorgamos nuestro **Voto Aprobatorio** y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de Biólogo

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	
Doctor	David	Flores Román	
Director de Tests	M. en C.	Abisai Josué García Mendoza	
M. en C.	Otilio Arturo	Acevedo Sandoval	
M. en C.	Amada Laura	Reyes Ortigoza	
Suplente	Bióloga	Claudia Vallejo Albarrán	
Suplente			

**A MIS PADRES**

**Por su amor y apoyo**

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en particular a la Facultad de Ciencias por haberme permitido alcanzar la primera de mis metas profesionales.

Al Instituto de Geología de la U.N.A.M., Departamento de Edafología, Laboratorio de Fertilidad de suelos, por permitir la realización del presente trabajo.

Al Dr. David Flores Román por su invaluable dirección y por compartir conmigo su tiempo y conocimientos.

A los Miembros del H. Jurado

Dr. David Flores Román  
M. en C. Abisaf Josué García Mendoza  
M. en C. Otilio Arturo Acevedo Sandoval  
M. en C. Amada Laura Reyes Ortigoza  
Biól. Claudia Vallejo Albarrán

Por sus atinadas sugerencias y críticos comentarios.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico por la Beca otorgada para la realización de esta tesis.

Al M. en C. Otilio Arturo Acevedo Sandoval por su desinteresada ayuda y apoyo.

Al M. en C. Sergio Palacios Mayorga, M. en C. Silvia Sánchez Beltrán, M. en C. Kumiko Shimada Miyasaka, M. en C. Ernestina Vallejo Gómez, M. en C. Jorge Enrique Gama Castro, Geog. Gabriel Marañón Guerrero, Biól. Arelia González Velázquez, Biól. Humberto Núñez Cardona, Biól. Daniel Hernández Santiago, Rubén Zamora Rojas y Gloria Barajas Morales, por la ayuda en una u otra forma recibida y muy especialmente a Carmen Galindo Velasco y Pedro Avilés Jaimes.

Al Ing. Rodolfo del Arenal Capetillo, Secretario Académico del Instituto de Geología y Silvia Calderón Camacho por las facilidades brindadas en la tramitación de la Beca.

A Oscar Juvenal Velázquez Rodríguez por todo el trabajo gráfico, utilizado en esta tesis.

A todos ellos, muchas gracias.

# CONTENIDO

Página

RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	2
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	4
1. Tepetates	4
A. Origen	4
B. Distribución	8
C. Importancia	9
2. Plantas utilizadas	12
A. Cebada	12
a. Origen geográfico	12
b. Clasificación botánica	12
c. Morfología de la planta	12
d. Condiciones de cultivo	13
e. Importancia	13
B. Girasol	14
a. Origen geográfico	14
b. Clasificación botánica	14
c. Morfología de la planta	14
d. Condiciones de cultivo	15
e. Importancia	15
C. Jitomate	16
a. Origen geográfico	16
b. Clasificación botánica	16
c. Morfología de la planta	17
d. Condiciones de cultivo	17
e. Importancia	18
D. Lenteja	18
a. Origen geográfico	18
b. Clasificación botánica	18
c. Morfología de la planta	18
d. Condiciones de cultivo	19
e. Importancia	19
E. Soya	19
a. Origen geográfico	19
b. Clasificación botánica	20
c. Morfología de la planta	20
d. Condiciones de cultivo	20
e. Importancia	21

F. Trigo	21
a. Origen geográfico	21
b. Clasificación botánica	22
c. Morfología de la planta	22
d. Condiciones de cultivo	22
e. Importancia	23
G. Casuarina	23
a. Origen geográfico	23
b. Clasificación botánica	23
c. Morfología de la planta	24
d. Condiciones de cultivo	24
e. Importancia	24
H. Eucalipto	24
a. Origen geográfico	24
b. Clasificación botánica	24
c. Morfología de la planta	25
d. Condiciones de cultivo	25
e. Importancia	25
I. Pirúl	25
a. Origen geográfico	25
b. Clasificación botánica	25
c. Morfología de la planta	26
d. Importancia	26
J. Pasto Rhodes	26
a. Origen geográfico	26
b. Clasificación botánica	26
c. Morfología de la planta	26
d. Condiciones de cultivo	27
e. Importancia	27
K. Sorgo	29
a. Origen geográfico	29
b. Clasificación botánica	29
c. Morfología de la planta	29
d. Condiciones de cultivo	29
e. Importancia	30
L. Veza	30
a. Origen geográfico	30
b. Clasificación botánica	30
c. Morfología de la planta	31
d. Condiciones de cultivo	31
e. Importancia	32
3. Solución nutritiva	32
4. Agregación	34
5. Interacción suelo-planta	37

### III. OBJETIVOS

39

### IV. CARACTERIZACION DE LA ZONA DE MUESTREO DEL TEPETATE

1. Localización	40
2. Fisiografía y geología	40
3. Hidrología y edafología	40
4. Clima	41
5. Vegetación	41
6. Uso del suelo	41

### V. METODOLOGIA

42

1. Gabinete	42
A. Acopio de información bibliográfica	42
B. Selección del sitio de muestreo	42
C. Selección de las especies vegetales	42
D. Selección de la solución nutritiva y dosis de aplicación	42
E. Selección del nivel de trituración del duripán	43
F. Selección de las metodologías específicas para la evaluación de las variables de respuesta	43
G. Análisis estadístico de los resultados.	43
2. Campo	44
A. Localización del sitio de muestreo	44
B. Recolecta del duripán	44
3. Preparación del experimento	44
A. Molienda del tepetate	44
B. Preparación de las macetas	44
C. Cálculo del volumen de agua para la saturación del duripán	46
D. Preparación de las especies vegetales	46
E. Preparación de la solución nutritiva	46
4. Invernadero	48
A. Planteamiento	48
B. Establecimiento	48
C. Cosecha	52
5. Laboratorio	52
A. Determinaciones físicas	52
B. Determinaciones químicas	59

<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	60
1. Caracterización del tepetate	60
2. Textura	60
3. Agregación	63
A. Porcentaje de agregación en los tratamientos estudiados	63
B. Análisis comparativo sobre la agregación entre las especies estudiadas	83
a. Casuarina, pirúl, eucalipto	83
b. Veza, pasto Rhodes, sorgo	87
c. Cebada, trigo, jitomate	91
d. Soya, lenteja, girasol	95
e. Análisis general de todos los cultivos	98
4. Materia orgánica y pH	100
5. Biomasa	105
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	114
<b>VIII. LITERATURA CITADA</b>	117
<b>IX. APENDICE</b>	125

## RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron: (1) determinar las características físicas y químicas del tepetate estudiado, (2) establecer los cambios porcentuales de las partículas minerales por efecto de los cultivos, (3) cuantificar el nivel de disgregación y agregación causado por las plantas, (4) determinar el efecto de los diferentes cultivos sobre el contenido de materia orgánica y el nivel de acidez o alcalinidad en el tepetate y (5) determinar la producción de biomasa de los cultivos en los tratamientos estudiados.

El diseño metodológico se basó predominantemente en el estudio en invernadero, del efecto de seis plantas perennes y seis de ciclo corto en dos niveles de trituración de duripán del estado de Morelos. Se hicieron análisis de laboratorio para determinar las características físicas y químicas del duripán, antes y después del experimento. Se evaluaron los resultados y se discutió el efecto de cada una de las especies probadas.

Los resultados mostraron una clara influencia de las plantas sobre las características del duripán, debida, tanto al efecto mecánico del sistema radical, como a la producción de exudados y al aporte de materia orgánica. Todos los cultivos tuvieron una alta capacidad de disgregación y agregación y modificaron el contenido de materia orgánica en el duripán. Se destaca también, el papel de la sílice amorfa en la formación de microagregados y su influencia en los porcentajes granulométricos.

Las conclusiones fueron: el duripán estudiado presentó características físicas y químicas que permitieron detectar los efectos de disgregación, alteración y agregación de los cultivos sobre dicho material. En capas cementadas por sílice, el fenómeno de microagregación se atribuyó, principalmente, al efecto cementante de la sílice amorfa. Los fenómenos físicos y químicos del sistema radical de las plantas, favorecieron la disgregación del tepetate y la formación de macro y microagregados. Las especies con mayor capacidad de disgregación y agregación en el tepetate fueron las arbóreas y, la producción de biomasa fué mayor en el nivel de trituración grueso del tepetate, el cual se constituyó de fragmentos de 2 a 20 mm.

Pese a su dureza y pobreza de nutrimentos, los tepetates pueden ser incorporados al proceso productivo si se conocen las bases para su modificación. Las especies vegetales han demostrado ser el factor principal para favorecer la formación de suelo y la recuperación de capas cementadas.

## I. INTRODUCCION

El tepetate es un horizonte endurecido del suelo, constituido por materiales que presentan ciertos grados de compactación y/o cementación. Su origen puede ser geológico (ígneo) o pedológico (sedimentario), o bien, una combinación de ambos. Dependiendo del tipo de cementante que presenten reciben diferentes nombres. Cuando la cementación es causada por sílice,  $\text{SiO}_2$ , reciben el nombre de duripanes; si es por carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ , se llaman petrocálcicos; cuando es por sulfato de calcio,  $\text{CaSO}_4$ , son petrogypsicos y cuando son cementados por sesquióxidos,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , plintitas. En ocasiones existen materiales compactados con escasa o nula cementación que se llaman fragipanes. Actualmente, se estima que aproximadamente en el 20-30% de la República Mexicana hay tepetates.

Originalmente, sobre el tepetate descansaba suelo fértil, sin embargo, en muchas zonas esa capa se ha perdido a causa de la erosión o del mal manejo de que ha sido objeto. El afloramiento del tepetate, además de que representa una forma grave de degradación del suelo, es un problema muy serio desde el punto de vista agrícola. Las capas cementadas limitan el crecimiento radical, reducen el paso del agua al subsuelo, provocan el drenaje lateral interno que conlleva la pérdida de numerosos materiales y son extremadamente susceptibles a la erosión tanto eólica como hídrica.

El principal problema para la reincorporación de las zonas con capas cementadas es su dureza y casi nula disponibilidad de nutrimentos. No obstante, se han llevado a cabo algunos programas de rehabilitación de áreas con tepetate, para lo cual ha sido indispensable fracturar el material y adicionar abonos o fertilizantes.

Las especies más usadas para la rehabilitación de capas endurecidas han sido las especies forestales, principalmente por su resistencia y adaptabilidad a condiciones adversas. En algunas zonas, se cultiva maíz, frijol y algunas otras gramíneas y leguminosas con fines de autoconsumo, pero en general no han sido estudiados los efectos de los cultivos sobre las capas cementadas.

Para la rehabilitación de capas cementadas después de la fracturación del material y la adición de materia orgánica, la siguiente etapa debe ser la formación de suelo, es decir, crear una estructura porosa y ligera capaz de permitir el intercambio gaseoso, el movimiento del agua y la penetración de las raíces. Las partículas asociadas en pequeños paquetes denominados "agregados" constituyen la estructura más deseable para el desarrollo vegetal y la formación de suelo. Si se favorece la formación de agregados en las capas cementadas, se pueden conseguir las características estructurales deseadas.

Las plantas constituyen uno de los principales factores en la formación de suelo. Durante su crecimiento se producen numerosos cambios en la rizósfera a causa de las raíces. Se favorece la disgregación del material y una posterior agregación en unidades con diferentes grados de estabilidad. La influencia de las plantas en las características de un suelo, se resume, en un incremento en el contenido de materia orgánica y, la formación de agregados por efecto de la acción mecánica de la raíz y la producción de mucílagos.

Sin embargo, en la formación de agregados en los duripanes, interviene otro factor muy importante, que es, el efecto cementante de la sílice amorfa, material que se encuentra en abundancia en este tipo de tepetates de origen volcánico. La conjunción de ambos factores, es decir, el efecto de las plantas y la agregación por sílice, constituyen la base de la disgregación y agregación en estas capas cementadas. De este modo, es posible modificar sus características, evitar su degradación, estudiar el efecto de diferentes especies sobre la disgregación y formación de agregados y, favorecer la formación de suelo. En resumen, sentar las bases para su incorporación al proceso productivo.

Este trabajo constituye la primera etapa de un estudio de 18 meses que forma parte de un proyecto de investigación institucional que se desarrolla en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la U.N.A.M., a cargo del Dr. David Flores Román.

El trabajo, se estructuró de la siguiente manera: una fase de campo, durante la cual se llevó a cabo la selección y colecta del tepetate; una fase de laboratorio, en la que se hicieron las determinaciones físicas y químicas del tepetate antes y después de la experiencia; la fase de invernadero, que constituyó la mayor parte del estudio, durante la cual, se establecieron los tratamientos con las plantas y los niveles de trituración del tepetate seleccionados y, una fase de gabinete en la que se recopiló toda la información derivada de la experiencia y se llevó a cabo el análisis estadístico y discusión de los resultados obtenidos para establecer las conclusiones pertinentes.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA.

### 1. TEPETATES.

#### A. Origen.

Las capas cementadas se conocen desde hace muchos años. La palabra tepetate deriva de las raíces Náhuatl: "tepetl", que significa piedra y "petatl", petate, por lo tanto, etimológicamente la palabra tepetate quiere decir "petate de piedra" (Rojas y Sánchez citados por Flores et al., 1991).

Las culturas prehispánicas en México tenían una clasificación para los materiales del suelo, basada principalmente en su color y dureza, tal como lo demuestran los glifos del Códice Vergara de mediados del siglo XVI, en el que se puede observar que los tepetates fueron identificados y clasificados (Figura 1).

En el glifo correspondiente al tepetate, primero está el símbolo del suelo, es decir, la capa arable y abajo el del tepetate, lo cual explica su posición real, puesto que la mayor parte de los tepetates se encuentran bajo una capa de suelo y han aflorado a causa de la erosión y pérdida de la capa fértil. En el glifo de tepetate arenoso, nuevamente se encuentra primero el símbolo del suelo, posteriormente el del tepetate y abajo de éste el de la arena, lo que implica que ya se relacionaban los tepetates con un origen volcánico (Flores, **op. cit.**).

Probablemente, el grupo étnico que mejor conocía las características de los tepetates era el de los Tlaxcaltecas, quienes desde hace más de cien años lo usaban con fines agrícolas, fracturandolo y agregandole estiércol (Hernández, 1987).

Actualmente, los campesinos mexicanos utilizan el término para referirse a las capas gruesas que han quedado expuestas y que son duras cuando están húmedas y extremadamente duras cuando están secas.

Sin embargo, las capas endurecidas no sólo se localizan en México, sino también en muchos otros países en donde reciben diversos nombres, tal como se muestra a continuación:

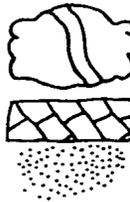
Glifo	Nombre en náhuatl	Traducción	Glifo	Nombre en náhuatl	Traducción
	Tepetlatl	Tepetate		Atoctli	Aluvión
	Tezoquiltl	Tierra Arcillosa		Teuhtlollil	Tierra Limosa
	Tepetlatl, xalalli	Tepetate Arenoso		Xalalli	Tierra Arenosa

FIGURA 1 Glifos de suelos del código Vergara. Medios del siglo XVI (Rojas y Sánchez, 1985).

PAIS O ETNIA	TERMINO
Geólogos internacionalmente	Silcrete
México	
Náhuatl	Tepetate
Otomí	Xiro
Tarasco	Shere
Nicaragua	Talpetate
Antillas	Pan
Colombia	Duripán (antes Hardpan)
Ecuador	Cangahua
Perú	Hardpan
Chile	Cangahua, Moromoro, Tosca, Fierrillo
Japón	Kora, Masa
Australia	Grey Billy
E.U.	Duripán y Fragipán

(Fuente Nimlos, 1986)

Desde el punto de vista científico, el tepetate es un horizonte endurecido del suelo. Involucra diferentes materiales tanto de origen geológico como edafogénico y se caracteriza por el grado de compactación o cementación que presenta.

Los tepetates, subyacen generalmente en suelos con horizontes argílicos o nátricos, en los que se encuentran dispuestos en el perfil en forma de estratos de 30 a 60 cm o más de grosor y de 20 a 70 cm de la superficie (Flores, *op. cit.*).

La terminología edáfica para designar los diferentes tipos de tepetates está en función del nivel de compactación y del tipo de material cementante que presentan. Cuando se presenta una fuerte compactación y una cementación débil o nula, se les denomina fragipanes (Grossman y Carlisle, 1969). Cuando la cementación es por sílice ( $\text{SiO}_2$ ) reciben el nombre de duripanes (Soil Survey Staff, 1960, 1967), silcretas (Lamplugh, 1907) o duricostras (Woolnough, 1927). Cuando es por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) el de petrocálcicos; cuando el calcio se encuentra como sulfato ( $\text{CaSO}_4$ ) petrogypsicos (Soil Survey Staff, *op. cit.*). Cuando la cementación es por sesquióxidos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se les denomina plintitas (Soil Survey Staff, *op. cit.*).

En el proceso de formación de los tepetates cementados por sílice, el vulcanismo ha sido un factor decisivo. Durante el Cuaternario hubo dos tipos de erupciones, uno consistió en un flujo suave de lava y el otro, en la expulsión violenta de gas, ceniza candente y vapor de agua;

fenómenos que dieron lugar a la formación de depósitos con características muy diferentes (Nimlos, 1989).

La génesis de los tepetates es muy difícil de establecer para la mayoría de ellos, ya que pueden haberse originado por procesos diagenéticos (litificación), edáficos (horizontes endurecidos) o ser resultado de ambos (Flores, *op. cit.*)

Los procesos conocidos para explicar el endurecimiento de los suelos son tres: (1) la consolidación de las partículas minerales que provoca una compactación, donde además, puede existir cierta cementación; (2) el endurecimiento de materiales piroclásticos en el momento de su depósito (origen ígneo) y (3) los procesos pedológicos (sedimentarios) que aportan cementantes en solución (Dubroeuq *et al.*, 1989; Flores, *op. cit.*; Zebrowski, 1991).

Con base en lo anterior, cada tipo de tepetate presenta características muy específicas.

Un fragipán, es un horizonte compactado, de textura de migajón; alta densidad aparente y muy bajo contenido de materia orgánica; es duro a muy duro cuando seco y frágil cuando está húmedo; posee una conductividad hidráulica de baja a muy baja; tiene una proporción alta de limo y arena muy fina y de moderada a baja de arcilla; tiene una expresión estructural pedológica débil y pocas o ninguna raíz (Flores *et al.*, 1992).

Flach y colaboradores (1969), opinan que los duripanes se derivan del prolongado intemperismo de los feldespatos y minerales ferromagnesianos, o bien, del rápido intemperismo del vidrio volcánico y materiales amorfos. Los piroclastos liberan fácilmente la sílice en agua, permitiendo su desplazamiento y acumulación en otras partes del perfil.

Nimlos y Ortíz (1987) y Nimlos y Hillery (1990), explican que la formación de duripanes involucra erupciones volcánicas con fuertes emisiones de cenizas y vapor de agua. Cuando el vapor se condensa, ocasiona fuertes lluvias en los depósitos cineríticos, con lo cual la sílice es liberada en la solución del suelo y fluye pudiéndose depositar en otros sitios. En el caso de la ceniza volcánica, como el enfriamiento del material es muy rápido no se alcanzan a formar los cristales de sílice, sino que queda como material amorfo, el cual es completamente soluble en agua.

En algunos casos, la formación de capas cementadas por sílice es pedogénica, se produce eluviación del sílice en un horizonte e iluviación en el inferior, de manera que éste último se cementa. Sin embargo, hay endurecimientos muy profundos en los que el transporte de sílice por procesos pedológicos no pudo haberse llevado a cabo, de manera que la formación de la capa se debió a procesos geológicos y pedogénicos (Nimlos, 1986).

Los duripanes típicos tienen de 50 cm a varios metros de espesor; estructura masiva, laminar o prismática gruesa y son de color blanco, gris, rojizo o amarillo (Flores, **op. cit.**).

Los tepetates petrocálcicos se forman por precipitación y acumulación de carbonatos, cuyas fuentes principales son: rocas carbonatadas en materiales parentales, ceniza calcárea y carbonatos autigénicos. Estos tepetates son predominantemente de color blanco (Flach, **op. cit.**).

En los petrogypsicos, la cementación se lleva a cabo por cristalización del sulfato de calcio cuando se llega al nivel de hidratación óptimo. Su color al igual que el de los petrocálcicos, es blanco (Guajardo, V.R. citado por Flores, **op. cit.**).

La cementación por sesquióxidos involucra diferentes clases de cementación, de las que destacan la formación de plintita, misma que se da bajo la influencia de una lámina de agua fluctuante. Dicha lámina crea condiciones alternadas de oxidación y reducción. Su coloración varía de amarillo muy claro hasta rojo intenso (Flores, **op. cit.**).

## **B. Distribución.**

Algunos autores destacan la estrecha relación entre el clima y la distribución de los tepetates.

Los fragipanes se encuentran restringidos a zonas donde la precipitación es mayor a la evaporación en alguna época del año, de manera que puede haber un lavado de bases por drenaje interno. Se encuentran en climas cálidos o fríos, principalmente en Spodosoles, Inceptisoles, Alfisoles y Ultisoles (Grossman y Carlisle, **op. cit.**).

Los petrocálcicos y petrogypsicos se encuentran en climas cálidos, en zonas áridas y semiáridas, así como en zonas húmedas y subhúmedas. La cementación por sesquióxidos se presenta en suelos de áreas húmedas o que lo fueron alguna vez (Flach, **op. cit.**).

Los duripanes se encuentran en climas cálidos, templados y húmedos, así como en zonas áridas y semiáridas donde la precipitación es suficiente para disolver los productos del intemperismo, pero sin lixiviación. Subyacen en suelos volcánicos con horizontes argílicos o nátricos y algunas veces en Vertisoles y Orthosoles (Flach, **op. cit.**; Flores, **op. cit.**).

De acuerdo con Flores y colaboradores (*op. cit.*), en México hay tepetates aproximadamente en el 30% de la República, la mayoría de los cuales se encuentran en la Altiplanicie bajo una pluviometría variable; una pequeña parte al norte de la vertiente del Golfo; otra al noroeste de Sonora y una más a lo largo de la península de Baja California, tal como se muestra en la Figura 2.

Debido a las características de aridez que prevalecen en la Altiplanicie, los tepetates que predominan en México son los petrocálcicos, petrogypsicos y duripanes (Flores, *op. cit.*); los primeros se localizan en Coahuila, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas; los petrogypsicos en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León y los duripanes en Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Edo. de México, Morelos, Querétaro, Aguascalientes y zonas adyacentes (Guerrero *et al.*, 1991).

### C. Importancia.

La importancia de los tepetates gira alrededor de dos aspectos fundamentalmente: (1) su génesis, caracterización morfológica, cartográfica y mineralógica y (2) las repercusiones de su afloramiento y su integración al proceso productivo.

Desde el punto de vista agronómico, el tepetate es muy importante porque limita la penetración de las raíces, reduce el paso del agua al subsuelo y provoca el drenaje lateral que conlleva la pérdida de materiales y componentes minerales del suelo provocando su empobrecimiento y erosión. Por otro lado, el tepetate representa una forma grave de degradación del suelo y su extrema dureza dificulta su manejo (Flores, *op. cit.*).

Originalmente, descansaba sobre el tepetate una capa fértil de suelo, misma que fué eliminada por erosión o a consecuencia del mal manejo de los suelos, tanto agrícolas como pecuarios (Sánchez *et al.*, 1987). Cuando esta capa se pierde, el tepetate aflora y se convierte en un serio problema.

En México se han hecho estudios sobre la caracterización morfológica, cartográfica y mineralógica de los tepetates (Valdez, 1970; Williams, 1972; Pacheco, 1979; Cervantes, 1983; Flores, *op. cit.*); sobre erosión (Trueba, 1980; Rey, 1987) e integración al proceso productivo.

Los principales problemas para la integración de los tepetates son su dureza y su baja disponibilidad de nutrimentos, de manera que el manejo más adecuado para su incorporación está basado en su fracturación, incorporación de materia orgánica y en favorecer la formación de agregados para la posterior formación de suelo (Hernández, *op. cit.*).

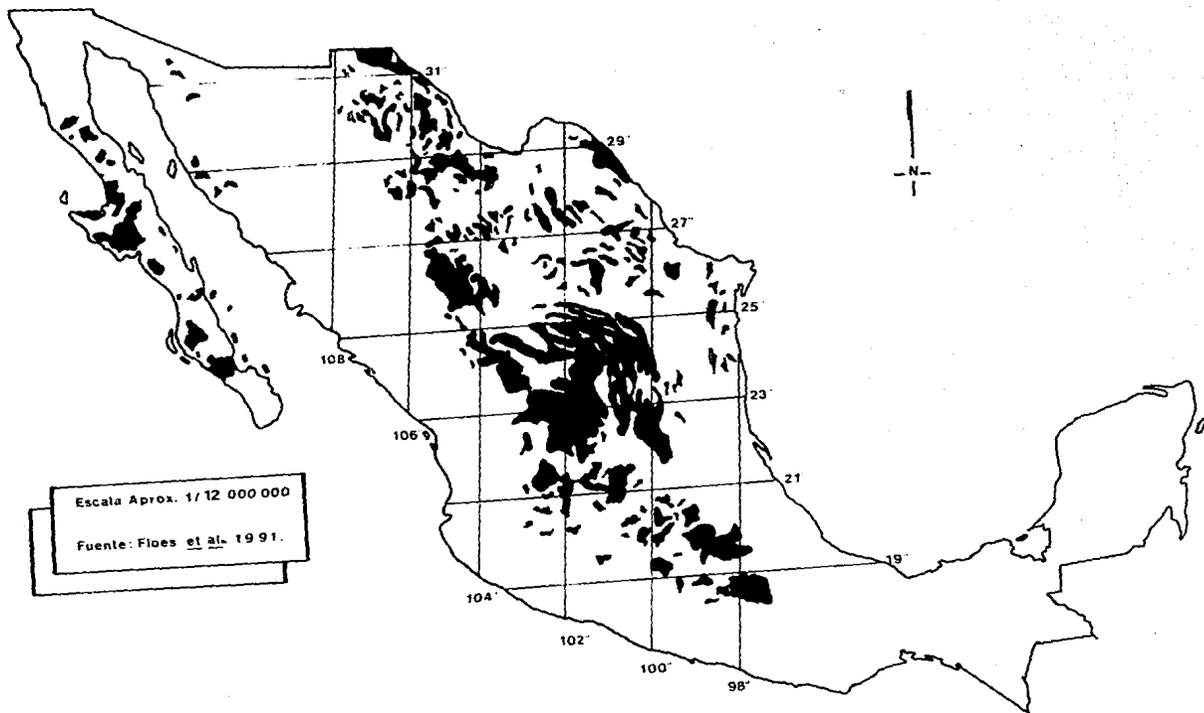


FIGURA 2 Distribución de tepalates en la República Mexicana.

Para la recuperación de tepetates es necesario primero fracturar el material. Originalmente, dicho proceso se llevaba a cabo de manera manual, sin embargo, actualmente se puede realizar con maquinaria, con lo que se facilita y agiliza el proceso.

La fracturación del tepetate permite el paso del agua y el aire al subsuelo, el desarrollo de microorganismos y la libre penetración de las raíces, con lo que se favorece la formación de agregados y posteriormente de suelo. Sin embargo, el tamaño de las fracciones debe ser tal, que sean lo suficientemente finas para no dañar el sistema radical, pero suficientemente gruesas para evitar la asfixia (Zebrowski, *op. cit.*). En la literatura, la mayoría de los trabajos recomiendan la trituración del tepetate (Peña, 1987; Camargo y Guido, 1987; Tovar, 1987; Morfín y Camacho, 1987; Pimentel, 1991; Martínez *et al.*, 1991; Zebrowski, *op. cit.*).

Los tepetates presentan un porcentaje de materia orgánica y nitrógeno muy bajos, así como niveles mínimos de fósforo, cobre, zinc y hierro disponibles, debido a la falta de actividad microbiana del tepetate y a las reacciones químicas que los hacen inaprovechables por las plantas. El resto de los elementos esenciales se puede encontrar en cantidades suficientes gracias a la descomposición de materiales ricos en esos elementos (Etchevers, *op. cit.*). De manera que para la integración de los tepetates al proceso productivo es indispensable la adición de los elementos de que carecen, lo cual se hace mediante la adición de materia orgánica y fertilizantes.

Con la adición de materia orgánica se mejora la estructura de las capas endurecidas y se acelera la formación de suelo, ya que su descomposición da como resultado la síntesis de sustancias orgánicas complejas que ligan a las partículas en agregados. Tales formaciones mantienen un estado granular que permite la circulación de agua y aire. Por otra parte, la materia orgánica aporta los nutrientes necesarios para el establecimiento de especies vegetales, lo cual también puede favorecerse aplicando algunos fertilizantes (Tovar, *op. cit.*; Márquez *et al.*, 1991; Sánchez, 1991;).

Numerosas especies vegetales han sido cultivadas en capas endurecidas para fomentar la formación de suelo a través de los fenómenos físicos y químicos que suceden en la rizósfera por efecto del desarrollo radical. Para dichos estudios se han utilizado principalmente: leguminosas como el palo dulce, alfalfa, haba y frijol, algunas de las cuales no han dado resultados satisfactorios (Camargo y Guido, *op. cit.*; Morfín y Camacho, *op. cit.*; Peña, *op. cit.*; Ruíz, 1987; Arias, 1991; Zahonero *et al.*, 1991); gramíneas como maíz, cebada, trigo y pastos, que se han adaptado muy bien a las condiciones de los tepetates (Camargo y Guido, *op. cit.*; Ruíz, *op. cit.*; Arias, *op. cit.*; Delgadillo *et al.*, 1991; Navarro y Zebrowski, 1991; Zahonero, *op. cit.*) y especies forestales como el eucalipto, pino, casuarina, acacia, abeto, que son las especies que mejores resultados han dado (Pedraza *et al.*, 1987; Arias, *op. cit.*; Guerra *et al.*, 1991; Llerena y Sánchez, 1991; Pimentel, *op. cit.*).

El uso de especies vegetales también ha sido de gran utilidad para evitar la erosión y el escurrimiento lateral que conlleva la pérdida de nutrimentos. Las especies forestales han sido más usadas principalmente, porque los suelos degradados no se consideran aptos para cultivos anuales, pero también, porque, particularmente las especies rústicas como las latifoliadas y las coníferas se adaptan muy bien a las características de los suelos degradados (Zebrowski, op. cit.).

Las leguminosas y las gramíneas pueden mantener y mejorar la fertilidad y estructura de un suelo, ya sea, mediante el aumento de materia orgánica por los residuos que dejan, o por la incorporación al suelo de minerales importantes como el nitrógeno en el caso de las leguminosas por su asociación con bacterias fijadoras. Pueden también controlar la erosión disminuyendo el escurrimiento superficial y actuando como una barrera (SEP, 1982).

## 2. PLANTAS UTILIZADAS.

De ciclo corto.

### A. CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)

#### a. Origen geográfico.

De acuerdo con Vavilov (1951) citado por Robles (1979), la cebada se cultivó por vez primera 5000 años a.C. en el suroeste de Asia y puede considerarse como la primera planta cultivada. Tiene dos centros de origen, uno en Etiopía y África del Norte y el otro en China, Japón y el Tíbet, mismas que corresponden a las dos variedades más antiguas: la variedad de barbas largas y la variedad desnuda o de barbas cortas, respectivamente.

#### b. Clasificación botánica.

Familia: **Poaceae**  
 Género: **Hordeum**  
 Especie: **H. vulgare L.**

(Fuente: Robles, 1979)

#### c. Morfología de la planta.

La cebada es una especie herbácea, anual, monoica, hermafrodita y perfecta. La raíz es fascicular, ramificada y con numerosas raíces adventicias; el tallo es recto, de 60 a 120 cm de altura dependiendo de la variedad, con entrenudos grandes que se alargan a medida que crece la planta; las hojas son lineares con venación paralela, nacen de los nudos y su longitud varía

de 15 a 25 cm o más; la espiga es cilíndrica, con 2 ó 6 carreras; en cada nudo del raquis se presentan tres flores, de las cuales, las exteriores suelen ser estériles; las glumas y las lemmas tienen típicamente aristas (cebada barbada); el polen es monocarpado y es muy rara la polinización cruzada (Robles, *op. cit.*).

#### **d. Condiciones de cultivo.**

La cebada se considera como un cultivo de clima templado, aunque resiste temperaturas mínimas de 3 a 4°C y máximas de 28 a 30°C, siendo la óptima 20°C. Crece en altitudes de 0 a 3500 m.s.n.m. por lo que se puede cultivar sin problemas a elevadas altitudes y latitudes. Se adapta muy bien a diversos climas y a gran variedad de suelos (Robles, *op. cit.*).

Su desarrollo es muy bueno en suelos con pH de 6 a 8.5, profundos y bien drenados, aunque lo ideal son suelos tipo migajón; franco-arcillosos y franco-arenosos con un pH de 7. Tolerancia cierto grado de salinidad del suelo (SEP, *op. cit.*).

Aunque es una especie anual, tiene cierta tendencia a convertirse en perenne bajo condiciones climáticas muy especiales. Hay variedades de primavera y de invierno, las primeras tienen un ciclo vegetativo de 80 a 90 días y las segundas pueden tener ciclos de más de 160 días, siendo éstas últimas las que se utilizan como forraje (Robles, *op. cit.*).

Prospera bien en regiones áridas y semiáridas, es muy tolerante a la sequía y no necesita riegos frecuentes, gracias a la eficacia de su sistema radical. En zonas húmedas crece bien, pero aumenta el riesgo de pérdidas a causa de plagas (pulgonos, chapulines, larvas, etc.) y patógenos (*Puccinia graminis*, *P. glumarum*, *Ustilago nuda*, etc.) cuyo desarrollo se ve favorecido por el exceso de humedad (Robles, *op. cit.*).

En campo, la fertilización recomendada es generalmente 80-40-00 en el momento de la siembra y la cosecha se lleva a cabo cuando el grano tiene un porcentaje mínimo de humedad (CIAB, 1969; SEP, *op. cit.*).

#### **e. Importancia.**

Los principales países productores de cebada son Estados Unidos, Canadá, los países del centro y noroeste de Europa, España y Rumanía. En México se produce en muchos estados, pero destacan el Edo. de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.

La importancia de la cebada radica en su uso como alimento para ganado, pero principalmente en la demanda de la industria cervecera, misma que ha tenido un gran auge en el país y ha provocado que se le de mayor atención al cultivo. La cebada es también industrializada y se pueden obtener de ella diversos extractos (Robles, *op. cit.*).

## **B. GIRASOL (*Helianthus annuus* L.)**

### **a. Origen geográfico.**

El centro de origen del girasol es América, continente en el que se han encontrado numerosas especies del género *Helianthus* en forma silvestre. La especie cultivada *H. annuus* probablemente se originó en la parte norte de México, en el medio oeste de Estados Unidos o en Perú, sin embargo, la teoría más aceptada es que fué en el norte de América (Robles, 1980)

Fué llevado en el siglo XVI a Europa como planta ornamental y en el siglo XIX se empezó a considerar como oleaginosa cuando en Rusia se extrajo su aceite por primera vez (Guerrero, 1984).

### **b. Clasificación botánica.**

Familia: **Asteraceae**  
Género: ***Helianthus***  
Especie: ***H. annuus* L.**

(Fuente: Robles, 1980)

### **c. Morfología de la planta.**

El girasol es una planta anual, herbácea, alógama. Su raíz es pivotante y de acuerdo con la textura del suelo puede penetrar a mayor o menor profundidad, crece más rápido que la parte aérea, de manera que su longitud generalmente sobrepasa la altura del tallo (Guerrero, *op. cit.*).

El tallo es cilíndrico, de 1 a 3 m de altura y se inclina un poco en la parte terminal abajo del capítulo. Las hojas son oval-trianguulares, con bordes aserrados, pubescentes, de tamaño variable, largamente pecioladas, los dos o tres pares de la base son opuestas y a partir del tercero o cuarto son alternas; su número varía de doce a cuarenta. La inflorescencia es un capítulo formado por 500 a 1000 flores muy pequeñas; el diámetro del capítulo varía entre 10 y 40 cm; las flores son liguladas y tubulares, las primeras son 30 a 70 flores asexuadas dispuestas radialmente, son estériles y de color amarillo naranja; las tubulares son fértiles,

hermafroditas, están dispuestas en arcos espirales y separadas entre sí por una paleola, la corola es actinomorfa y gamopétala. El fruto es un aquenio comprimido; las semillas tienen el pericarpio estrechamente unido y su tamaño es variable. La polinización es entomófila (Guerrero, *op. cit.*; Robles, *op. cit.*).

#### **d. Condiciones de cultivo.**

Principalmente se cultiva en países situados entre 45° de latitud norte y 35° de latitud sur; desde el nivel del mar hasta 1000 m.s.n.m., aunque hay regiones en las que se siembra a más de 2500 m de altitud. Está bien adaptado a climas templados y cálidos (Robles, *op. cit.*).

La temperatura óptima para su desarrollo es de 20°C, la mínima de 10°C y la máxima de 40°C. Crece bien en regiones con una baja humedad relativa, pues de otro modo se vuelve muy susceptible a plagas y enfermedades. La capacidad de su sistema radical para adaptarse a diferentes profundidades la hace ser una especie muy resistente a la sequía (Robles, *op. cit.*). Después de una lluvia o del riego, aún cuando no sea muy abundante, se forman numerosas raíces adventicias que cubren rápidamente la superficie del suelo (Guerrero, *op. cit.*).

Los suelos arcillo-arenosos o de textura franca son los más adecuados para el crecimiento del girasol. En los suelos muy arenosos se pierde fácilmente el agua y los que tienen porcentajes muy elevados de arcilla pueden ocasionar la pudrición de la raíz por exceso de humedad. El pH del suelo puede oscilar entre 6.5 y 8, siendo 7 el valor de pH óptimo para el cultivo. En lo que respecta al fotoperíodo, se sabe que necesita de 12 a 14 horas de luz para que su desarrollo sea satisfactorio, de otra manera el crecimiento se detiene.

La fertilización es muy importante, es sensible a la deficiencia de nutrimentos, principalmente de cobre y boro, incluso suele usarse como planta indicadora en análisis de suelos (Robles, *op. cit.*).

La cosecha se efectúa cuando la planta tiene un 65 % de humedad para evitar la pérdida de la semilla (Robles, *op. cit.*; Guerrero, *op. cit.*).

#### **e. Importancia.**

Entre las características más sobresalientes del girasol como cultivo, se encuentran su buena resistencia a la sequía, su tolerancia a bajas temperaturas y su rusticidad, mismas que permiten su adaptación a diferentes condiciones climáticas y edáficas.

Principalmente se conoce a nivel mundial como planta oleaginosa ya que el aceite representa entre el 35 y el 50% de la composición total del aquenio. Es un aceite muy codiciado por ser rico en ácidos no saturados, lo que implica una menor cantidad de colesterol y fosfolípidos en la sangre, comparado con las cantidades que aportan los aceites con ácidos grasos saturados; además, es asimilado casi en un 98% por el organismo y contiene vitaminas A, D y E (Robles, *op. cit.*).

Los residuos que quedan después de la extracción del aceite son utilizados como alimento para ganado y aves, ya que contienen un porcentaje muy elevado de proteínas y aminoácidos.

Por otro lado, el girasol es también una planta importante como follaje si se cosecha en el momento de la floración. Se puede emplear como abono verde ya que su aporte de materia orgánica al suelo es significativa (Robles, *op. cit.*).

En México se cultiva en Zacatecas, Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí, Durango, Querétaro, Tlaxcala, Oaxaca, Chiapas y Chihuahua, principalmente (Robles, *op. cit.*).

### **C. JITOMATE (*Lycopersicum esculentum* Mill.)**

#### **a. Origen geográfico.**

El jitomate es una planta de origen americano, probablemente de Perú o Ecuador, pero que actualmente, no se encuentra en ninguna parte del continente en forma silvestre. Aparentemente, proviene de otra especie de frutos pequeños, *Lycopersicum cerasiforme*, que crece en Perú, México y E.U. (Román, 1987).

#### **b. Clasificación botánica.**

Familia: Solanaceae  
Género: *Lycopersicum*  
Especie: *L. esculentum* Mill.

(Fuente: Román, 1987)

### **c. Morfología de la planta.**

El jitomate es una planta herbácea, anual, aunque potencialmente perenne. Su sistema radical lo constituye una raíz principal pivotante y numerosas raíces adventicias. El crecimiento de la raíz es en promedio de 3 cm diarios hasta que alcanza una longitud de 60 cm. La morfología del sistema radical puede modificarse por el trasplante, perdiéndose la raíz principal y desarrollándose de manera horizontal las adventicias (Rodríguez *et al.*, 1984).

El tallo es ramificado, pubescente, con tendencia trepadora, puede alcanzar hasta 2.5 m de altura y su superficie está provista de glándulas. El follaje está compuesto por hojas penatisecionadas intercaladas con hojas simples, ambas cubiertas de glándulas al igual que el tallo; las hojas compuestas se encuentran en forma alterna y su limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos (Souza, 1950; Rodríguez, *op. cit.*).

Las flores se presentan en racimos axilares y son gamosépalas y gamopétalas. El fruto es una baya redondeada de superficie lisa de tamaño y color variables; las semillas son oscuras, de forma oval, planas y de 3 a 5 mm (Rodríguez, *op. cit.*).

La variedad Floradade es una planta vigorosa con hábito de crecimiento determinado, sus frutos son redondos, lisos, muy firmes y de color rojo intenso (SARH, 1988).

### **d. Condiciones de cultivo.**

El jitomate se adapta a diversos climas, excepto a aquellos en que se presentan heladas pues es muy sensible a ellas. La temperatura óptima para su desarrollo oscila entre 15 y 25°C. La humedad relativa no debe ser superior al 50% y no se ve afectado por el fotoperíodo (Rodríguez, *op. cit.*).

Crece en condiciones edáficas muy variadas, no es una especie muy exigente ya que su sistema radical le permite adaptarse a suelos pobres y poco profundos pero con buen drenaje y un pH de 6.5 a 7.0 (Rodríguez, *op. cit.*).

Folquer, citado por Román (*op. cit.*), dice que el tipo de suelo más adecuado para el cultivo del jitomate es franco-arenoso o arenoso.

La variedad Floradade no requiere de podas, pero sí del uso de tutores; la siembra puede ser por trasplante, en cuyo caso el primer corte se realiza 75 u 80 días después. Para la mayoría

de los suelos, la fertilización más usada es 150-60-00. Puede ser atacada por hongos, bacterias y plagas, principalmente *Alternaria*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Xanthomona*, mosca blanca, gusano minador, entre otros (SARH, *op. cit.*).

#### **e. Importancia.**

El jitomate está considerado como una de las hortalizas más importantes en México y otros países debido al alto valor nutritivo del fruto y su sabor tan característico.

Los principales estados productores en México son: Sinaloa, San Luis Potosí, Guanajuato, Morelos y Baja California Norte (Román, *op. cit.*).

### **D. LENTEJA (*Lens culinaris* L.)**

#### **a. Origen geográfico.**

Souza (1950), menciona que la lenteja es una planta nativa de Europa, probablemente originaria de las zonas templadas y cálidas.

#### **b. Clasificación botánica.**

Familia: **Leguminosae**  
 Género: **Lens**  
 Especie: **L. culinaris L.**

(Fuente: Souza, 1950)

#### **c. Morfología de la planta.**

La lenteja es una planta herbácea, anual, con tallo débil, corto y muy ramificado de 30 a 45 cm de alto; hojas pinnadas; folíolos pequeños, ovales u oblongo-ovalados, terminados generalmente en zarcillos; sus flores son pequeñas, papilionáceas, se encuentran en racimos axilares y son de color blanco o ligeramente azul; el ovario tiene dos óvulos; las vainas son cortas, anchas, aplanadas, redondeadas, convexas en ambas caras y terminadas en un corto apéndice en forma de gancho (Guerrero, *op. cit.*; Souza, *op. cit.*).

#### **d. Condiciones de cultivo.**

La lenteja es un cultivo adaptado a climas templados y semiáridos, pero muy sensible a períodos largos de frío. La temperatura óptima para su desarrollo oscila entre 15 y 25°C, por lo que se cultiva en primavera en las zonas donde los inviernos son severos y en invierno únicamente en lugares donde la estación fría es suave.

Sus requerimientos hídricos son muy específicos, un exceso de agua puede provocar una disminución notable en la producción, al igual que un retraso en el riego durante o después de la época de floración. Actualmente, se han creado especies resistentes a la sequía.

Crece en todo tipo de suelos, pero la lenteja de mejor calidad se produce en suelos con un alto contenido de materia orgánica y óxidos de hierro.

La cosecha se efectúa cuando las vainas aún no están completamente secas para evitar las frecuentes pérdidas por dehiscencia de las vainas (Guerrero, *op. cit.*).

No se reporta ninguna enfermedad ni plaga de importancia económica para la lenteja.

#### **e. Importancia.**

Aunque la lenteja puede emplearse como forraje en estado verde y como paja cuando está seca, su importancia radica en que sus semillas son un buen complemento en la alimentación humana, ya que contienen más del 25% de proteínas y una gran cantidad de hierro.

En Asia, se cultiva principalmente en la India; en Europa, el productor más importante es España y en el continente Americano destacan E.U., Chile y Argentina (Guerrero, *op. cit.*).

### **E. SOYA (*Glycine max* L.) Merrill.**

#### **a. Origen geográfico.**

De acuerdo con Vavilov (1951) citado por Robles (1979), la soya es un cultivo originario de China, de donde se extendió a toda Asia, algunos países de Europa y después al continente Americano. La primera mención que se hace de esta planta se encuentra en una publicación médica de China del año 2838 a.C., en la que se consideraba como uno de los cinco granos sagrados.

En México, las primeras noticias de la soya datan de 1911; su introducción comenzó en el Valle del Yaqui, después en la costa de Hermosillo y en el Valle del Mayo en Sonora, de donde se extendió a toda la República (Robles, *op. cit.*)

#### **b. Clasificación botánica.**

Familia: **Leguminosae**  
Género: **Glycine**  
Especie: **G. max L.**

(Fuente: Robles *op. cit.*)

#### **c. Morfología de la planta.**

La soya es una planta anual, herbácea, con sistema radical bien desarrollado; los tallos son erguidos, ramificados, de 45 a 150 cm de altura, pilosos; tiene hojas alternas, trifoliadas, oval-lanceoladas, peciolo acanalado en la parte superior y engrosado en la base, con pequeñas estípulas; las inflorescencias son en racimos, pequeñas y su número varía de 8 a 16; los estambres son diadelfos; las vainas son hispidas, cortas y con las valvas constriñidas contra las semillas, su color es variable y contienen de dos a tres granos lisos de color variable, forma ovalada e hilo oval de 3 a 4 mm de longitud. En la plántula las dos primeras hojas son sencillas y acorazonadas, con peciolo pequeño, la segunda es trifoliada con peciolo largo y estriado; los foliolos son ovalados de superficie pilosa (Robles, *op. cit.*).

#### **d. Condiciones de cultivo.**

La soya es un cultivo muy susceptible a los cambios climáticos, pero crece satisfactoriamente en diversos suelos, incluso en aquellos relativamente pobres. Es resistente a las heladas sólo durante algunas etapas de su desarrollo, pero hay variedades que toleran temperaturas de hasta 4°C sin que presenten daños muy severos; como temperatura nocturna óptima se considera de 18 a 25°C y diurna de 25 a 30°C.

Es una planta de días cortos, el período de oscuridad es determinante para la producción de primordios, por lo que requiere períodos de 14 a 16 horas de oscuridad para que la floración sea rápida.

La soya crece en gran variedad de suelos, excepto en los muy arenosos. Tolera un pH de 8 a 8.5, aún cuando el óptimo es de 6 a 6.5, pero es muy susceptible a las sales solubles; en

suelos pesados, la siembra debe ser superficial (3-5 cm) para evitar problemas de germinación, pero en suelos franco-arenosos puede hacerse a mayor profundidad. Es una especie muy rústica en cuanto a sus requerimientos nutricionales, por lo que puede desarrollarse en suelos pobres.

Uno de los principales problemas del cultivo de la soya, es su alta susceptibilidad al ataque de hongos, bacterias y plagas, tales como: **Cercospora**, **Peronospora**, **Pythium**, **Pseudomona**, **Xanthomona**, trips, mosca blanca, araña roja, gusano soldado, entre otras.

La cosecha se efectúa cuando la planta ha tirado todas las hojas y las vainas están maduras (Robles, *op. cit.*).

#### **e. Importancia.**

La soya es un cultivo importante a nivel mundial por sus propiedades alimenticias y su uso industrial, ya sea como semilla o como planta.

La planta es utilizada como forraje, como abono verde y actualmente como parte de la alimentación humana. Los granos son ricos en vitamina A, B y rivo flavina, cuando se secan aumenta su cantidad de proteínas y grasas, pero de las dos formas son fuente de calcio, hierro y fósforo.

En la industria, las semillas se utilizan para elaborar harina, leche, salsas, etc. Sus aceites y la pasta que queda después de la extracción de los mismos se utiliza para hacer manteca, margarina, aceite comestible, alimento de ganado y de aves.

En general, la soya contiene 1.5% más de proteínas que el frijol y sus derivados son un buen complemento para aumentar el contenido proteico de otros alimentos (Robles, *op. cit.*).

#### **F. TRIGO (*Triticum aestivum* L.).**

##### **a. Origen geográfico.**

El trigo se originó en el oeste de Asia hace aproximadamente 10000 años. Aparentemente hubo dos clases de trigo silvestre: Einkorn y Emmer, mismas que fueron cultivadas por tribus de la región y que actualmente son consideradas como variedades diferentes y aún se cultivan.

El trigo fué introducido en México por los españoles en 1520 (Robles, *op. cit.*).

## b. Clasificación botánica.

Clase: Angiospermae  
 Subclase: Monocotiledoneae  
 Orden: Graminales  
 Familia: Poaceae  
 Género: Triticum  
 Especie: T. aestivum L.

(Fuente: Robles, 1979)

## c. Morfología de la planta.

De acuerdo con Robles (*op. cit.*), el trigo es una especie anual, herbácea, monoica, hermafrodita, perfecta; la raíz principal es fascicular con numerosas raíces adventicias; el tallo alcanza una altura de 60 a 120 cm, aunque hay variedades enanas cuyo tallo mide de 25 a 30 cm y otras muy altas cuyo tallo crece hasta 180 cm. Las hojas son liguladas, con nervaduras longitudinales, miden de 15 a 25 cm de largo y de 0.5 a 1 cm de ancho, su número varía de 4 a 6; la espiga está formada por espiguillas dispuestas alternadamente en el raquis y contienen de 2 a 5 flores; el número de espiguillas varía de 8 a 12 dependiendo de la variedad; el número de granos por espiguilla varía de 2 a 4; el fruto es un cariósipide de forma ovoide con un pliegue ventral; el pericarpio es de color rojo y el endospermo puede ser blanco o ligeramente cristalino.

## d. Condiciones de cultivo.

Se trata de una especie con un amplio rango de adaptación, aunque se considera como cultivo de zonas templadas y frías por su tolerancia a las bajas temperaturas. La temperatura óptima para su desarrollo oscila entre los 10 y 25°C y se produce entre 15 y 60° de latitud norte y de 27 a 40° de latitud sur, aunque existen variedades capaces de adaptarse a diferentes latitudes y altitudes (Robles, *op. cit.*).

El trigo es una planta de días largos, pero existen variedades no sensibles al fotoperíodo. Se adapta a zonas húmedas, semihúmedas y secas, puede crecer tanto en suelos pobres como en suelos muy ricos, siempre y cuando el pH sea de 6.5 a 7 ya que no tolera la alcalinidad. Es ligeramente sensible al estrés hídrico, por lo que no debe faltarle agua por períodos largos, pero tampoco debe saturarse de agua ya que se favorece el desarrollo de hongos como *Puccinia graminis*, *P. triticina*, *P. glumarum* y algunas bacterias y plagas que provocan pérdidas importantes como el pulgón de la espiga del trigo, *Macrosiphum granarium* (Robles, *op. cit.*).

### e. Importancia.

La importancia del cultivo del trigo es evidente, ya que constituye la base alimenticia de muchas culturas y ocupa el primer lugar en producción y superficie sembrada entre los cereales básicos, además de que la obtención de variedades resistentes ha permitido su adaptación a cualquier zona y clima, lográndose con ello su cultivo durante todo el año y en todos los suelos (Robles, *op. cit.*).

Los principales países productores de trigo son: Rusia, China, E.U. y Canadá. En México se cultiva en casi todos los estados, aún cuando su cultivo representa únicamente la tercera parte de lo que se consume de maíz.

Según Robles (*op. cit.*), su producción se divide en seis zonas:

- 1) Zona noroeste: Sonora, Sinaloa y Baja California.
- 2) Zona del Bajío: Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y San Luis Potosí.
- 3) Región de la Laguna: Coahuila y Durango.
- 4) Zona norte: Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.
- 5) Zona Centro: Aguascalientes, Zacatecas, Durango y San Luis Potosí.
- 6) Valles Altos de la Altiplanicie Mexicana: Edo. de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Oaxaca.

### Perennes.

### G. CASUARINA (Casuarina equisetifolia L.)

#### a. Origen geográfico.

La casuarina es nativa de Australia, pero también se encuentra en islas del Pacífico tales como Java, Fiji, Nueva Caledonia, el Archipiélago Malayo y en algunas partes del continente Asiático, tales como el norte de Burna (Cronquist, 1981).

#### b. Clasificación botánica.

Familia: **Casuarinaceae**  
 Género: **Casuarina**  
 Especie: **C. equisetifolia L.**  
 (Fuente: Cronquist, 1981)

### c. Morfología de la planta.

La casuarina es un árbol siempre verde con ramas y ramillas verticiladas, nudoso-articuladas. Las raíces presentan nódulos a causa de la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. Las hojas son escamosas, estriadas, verticiladas y articuladas; sin estípulas. Las flores son unisexuales, monoicas o dioicas; las estaminadas son unibracteadas, se encuentran en amentos y se localizan en ramas laterales; las pistiladas son también bracteadas y se encuentran en cabezuelas terminales; las flores masculinas poseen un perigonio de dos hojas dentro de cuatro brácteas, unidas por el ápice y separadas por el crecimiento del estambre. El estambre es único, central, filiforme, con la base gruesa; las anteras son biloculares de dehiscencia longitudinal. El ovario es súpero, unilocular, con dos óvulos ascendentes en la base, estilo corto, estigma de dos ramas largas filiformes. El fruto es múltiple, formado por cariósides comprimidas, con un ala membranosa y se encuentran protegidas por las brácteas (Sánchez, 1980; Cronquist, *op. cit.*).

### d. Condiciones de cultivo.

Se cultiva en zonas con clima tropical y subtropical, aunque tiene la capacidad de adaptarse a condiciones muy variadas (Cronquist, *op. cit.*).

### e. Importancia.

La familia *Casuarinaceae* es muy importante desde el punto de vista evolutivo por ser considerada muy primitiva y por su relación con otras familias (Cronquist, *op. cit.*). Es una especie de importancia forestal.

## H. EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus* Labiell.)

### a. Origen geográfico.

El eucalipto es originario de Australia, aunque se encuentran representantes cultivados en todo el mundo (Cronquist, *op. cit.*).

### b. Clasificación botánica.

Familia: **Myrtaceae**  
 Género: **Eucalyptus**  
 Especie: **E. globulus Labiell.**

(Fuente: Cronquist, *op. cit.*; Sánchez, 1980)

### c. Morfología de la planta.

Árbol con raíz modificada y ectomicorrizada; hojas opuestas, simples, coriáceas, enteras y casi siempre con una venación intramarginal continua. Las flores se encuentran en inflorescencias, comunmente bibracteoladas, perfectas y algunas veces unisexuales (pueden presentarse flores estaminadas); sépalos y pétalos imbricados en número de tres a seis. Polen tricolpado (Cronquist, *op. cit.*).

### d. Condiciones de cultivo.

Es una especie que se adapta a muy diversas condiciones. En las altas temperaturas de la Australia meridional forma grandes bosques. Algunas especies alcanzan a medir más de 100 metros de altura (Cronquist, *op. cit.*).

### e. Importancia.

Es una especie cultivada en muchos países como ornamental; se utiliza también por su madera y principalmente, para reforestar y adornar parques y jardines (Cronquist, *op. cit.*).

## I. PIRUL (*Schinus molle* L.).

### a. Origen geográfico.

El pirul es un árbol originario de Perú; las primeras semillas fueron traídas a México por Antonio de Mendoza (Sánchez, 1980).

### b. Clasificación botánica.

Familia: **Anacardiaceae**  
 Género: **Schinus**  
 Especie: **S. molle L.**

(Fuente: Cronquist, *op. cit.*)

### c. Morfología de la planta.

El pirúl es un árbol siempre verde de 4 a 8 m de altura. Posee ramas colgantes con hojas alternas, imparipinadas, folíolos en número variable de 7 a 13, de forma linear-lanceolada finamente aserrados.

Las flores son paniculadas, pequeñas, de color amarillo verdoso; la floración es de marzo a mayo. El fruto es drupáceo e indehisciente (Sánchez, *op. cit.*)

### d. Importancia.

La importancia del pirúl es principalmente forestal.

## J. PASTO RHODES (*Chloris gayana* Kunth.)

### a. Origen geográfico.

El pasto Rhodes tuvo su origen en Africa, región en la que se encuentra en forma silvestre en áreas tropicales y subtropicales. Fue introducido a Sudáfrica por Cecil Rhodes en 1895 y de ahí se distribuyó a las zonas cálidas del mundo (Bogdan, 1977; Hitchcock, 1950).

### b. Clasificación botánica.

Familia: Poaceae  
 Género: *Chloris*  
 Especie: *C. gayana*

(Fuente: Hitchcock, *op. cit.*)

### c. Morfología de la planta.

El pasto Rhodes es una planta perenne, con raíz fascicular modificada: la raíz primaria persiste por muy poco tiempo después de la germinación, quedando raíces secundarias que se forman de los nudos del tallo; posee estolones rastreros con tallos rectos o geniculadamente ascendentes de 0.5 a 2 m de altura y entrenudos comprimidos; las hojas son glabras, de 15 a 50 cm de largo y de 2 a 20 mm de ancho; en los estolones las hojas son cortas y se presentan de 2 a 4 en cada nudo; la panícula es digitada a subdigitada; los racimos de espiguillas son de 4 a

15 cm de largo; la lemna mide aproximadamente 3 mm y es hispida en el margen; las espiguillas presentan de 3 a 4 flores, de las cuales, las más bajas son fértiles y tienen una arista de 1 a 10 mm de largo; las flores secundarias son ligeramente cortas con una pequeña arista masculina; la floración se da a los 15 días de que emerge la panícula y la mayoría completan su floración en tres días; el fruto es una carióspside que tiene cerca de 2 mm de longitud (Hitchcock, *op. cit.*; Bogdan, *op. cit.*).

#### **d. Condiciones de cultivo.**

El pasto Rhodes prospera en un amplio rango de temperaturas, aunque requiere de climas cálido-templados o cálidos con una temperatura óptima de 35°C y de 10 a 14 horas de luz para su mejor desarrollo; con un fotoperíodo menor, se reduce un poco el crecimiento y la producción se detiene con más de 14 horas de luz. Es una especie relativamente resistente a la sequía y puede crecer con una precipitación de 600 mm, pero no con niveles muy por debajo de este valor (Bogdan, *op. cit.*).

Tolera condiciones edáficas muy variadas, excepto un pH muy alto; crece bien en suelos alcalinos y ligeros tales como los formados de cenizas volcánicas; es muy tolerante al sodio en forma de carbonato y sulfato, pero menos tolerante cuando se encuentra como cloruro o nitrato. Es muy sensible al cloruro de magnesio y a los niveles altos de magnesio; tolera altas concentraciones de litio en el suelo y puede soportar períodos de inundación de 15 días o más (Bogdan, *op. cit.*).

Su vida productiva es de aproximadamente tres años, pero con fertilización nitrogenada se puede alargar hasta cinco años, además de que se favorece un rápido crecimiento y una disminución en la producción de fibras (SEP, *op. cit.*).

No es susceptible al ataque de patógenos, los únicos que pueden ocasionarle daños importantes son *Helminthosporium* y *Fusarium gramineum* que atacan las hojas y espigas (Bogdan, *op. cit.*).

#### **e. Importancia.**

Se cultiva principalmente en Japón, Rusia, E.U., Australia y Kenia, en donde es popular por la buena producción de semilla, su fácil establecimiento y su hábito de crecimiento (Bogdan, *op. cit.*).

De acuerdo con Hitchcock (*op. cit.*), este pasto al igual que muchos otros, es usado frecuentemente para evitar la erosión de los suelos debido a sus fuertes rizomas.

El cultivo del pasto Rhodes puede controlar la erosión disminuyendo el escurrimiento superficial y actuando como barrera de contención en la erosión eólica. Por otro lado, además de ser una fuente importante de alimento para ganado, mantiene y mejora la fertilidad y estructura del suelo (SEP, *op. cit.*).

## K. SORGO (*Sorghum alnum* Parodi.).

### a. Origen geográfico.

El sorgo se considera originario de Africa, en la zona ecuatorial. Tiene aproximadamente 5000 años como especie cultivada y en América se estableció por primera vez en Argentina, país en el que se encuentra muy bien adaptado. La especie *S. alnum* fué descrita por Parodi en 1943 (Bogdan, 1977; Robles, 1979; Rosas, 1987)

### b. Clasificación botánica.

Familia: **Poaceae**  
 Género: **Sorghum**  
 Especie: **S. alnum Parodi.**

(Fuente: Robles, *op. cit.*)

### c. Morfología de la planta.

El sorgo es una especie perenne, monoica, hermafrodita, incompleta, perfecta. La raíz es de tipo fascicular con ramificación profusa, lo que lo hace resistente a la sequía; forma rizomas cortos, terminales, ascendentes; los tallos son cilíndricos, rectos y numerosos, puede crecer de 0.60 a 3.50 m; cada nudo está provisto de una yema lateral y en algunas variedades las yemas inferiores se desarrollan para formar macollos; las hojas son alternas, planas, de 30 a 100 cm de longitud y 1.5 a 4 cm de ancho; la panícula es de 20 a 60 cm de largo, laxa, compacta, semicompacta o abierta; las espiguillas son sésiles, ovalado-lanceoladas, de 4.5 a 7 mm de largo y 2.5 mm de ancho, con una arista de 1 cm de largo o sin ella; las glumas son pardas o negras, duras, ovaladas y cubren completamente al fruto en la madurez; el fruto es un cariósipide ovalado, de 3.3 a 4 mm de largo y 2 a 2.3 mm de ancho; las espiguillas son persistentes sobre los racimos; la panícula puede llegar a tener hasta 6000 flores y se requiere un período de 5 a 7 días para su floración; el sorgo se autofecunda, aunque puede haber fecundación cruzada (Bogdan, *op. cit.*; Robles, *op. cit.*; Rosas, *op. cit.*).

### d. Condiciones de cultivo.

Es un cultivo que se adapta a condiciones climáticas y edáficas muy diversas. Crece bien en climas cálidos y secos, pero puede soportar bajas temperaturas; la temperatura óptima para su crecimiento es de 26.7°C, la máxima de 37.5°C y la mínima de 16°C. Se puede cultivar desde los 45° de latitud norte hasta los 35° de latitud sur y de 0 a 100 m.s.n.m., aunque en México crece a 2200 y a 2600 m.s.n.m. (Robles, *op. cit.*).

Generalmente se cultiva en zonas con una precipitación de 400 a 750 mm al año; es muy resistente a la sequía gracias a que tiene una profusa ramificación y amplia distribución del sistema radical, una serie de células higroscópicas a los lados de la nervadura central que permiten el doblamiento de las hojas y una capa cerosa que cubre ambas caras de las hojas y los primeros entrenudos (Robles, *op. cit.*). Rosas (*op. cit.*), menciona que cuando la humedad es elevada, se vuelve muy susceptible a patógenos y plagas que ocasionan pérdidas muy considerables, como por ejemplo: la mosca de la panoja, gusano barrenador, pulgones, *Pythium*, *Fusarium*, *Helminthosporium*, *Puccinia*, *Sphaceloteca*, entre otros.

Crece en diversos suelos, sobre todo en aquellos de tipo franco-arenoso y franco-arcilloso; cuando la cantidad de arcilla es muy elevada se puede dañar el sistema radical a causa del agrietamiento del suelo (Robles, *op. cit.*; SEP, *op. cit.*).

#### e. Importancia.

El sorgo puede usarse en la alimentación humana, como forraje y grano para la alimentación de animales y para la industrialización. Se considera que podría sustituir al maíz en la mayoría de sus usos, sin embargo, su cultivo aún no se ha generalizado.

Se cultiva principalmente en Africa, India y China. En México comenzó a adquirir importancia en 1875 y actualmente se cultiva en Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa, Sonora, Michoacán y Jalisco, donde el uso que se le da es básicamente el de alimento para ganado y aves. El contenido de proteínas varía del 8.5 al 9.0% en las variedades cultivadas en México (Robles, *op. cit.*).

### L. VEZA (*Vicia sativa* L.).

#### a. Origen geográfico.

No se conoce mucho sobre el origen de esta planta, pero de acuerdo con Sánchez (1980), probablemente tuvo su origen en el Cáucaso o en Europa.

#### b. Clasificación botánica.

Familia: Leguminosae  
 Género: *Vicia*  
 Especie: *V. sativa* L.

(Fuente: Guerrero, 1984)

### c. Morfología de la planta.

Es una herbácea, perenne, trepadora, de raíz profunda, fascicular, ramificada y con numerosos nódulos. Tiene tallos trepadores, cuadrangulares o muy angulosos, que pueden alcanzar hasta 1 m de longitud; hojas compuestas, paripinadas, con un número de folíolos variable entre 5 y 8 pares, pubescentes, oblongo-espátuladas con el ápice hendido y mucronado y terminadas en un zarcillo ramificado.

Las flores son simples, casi sésiles, distribuidas en grupos de 2 a 4 o solitarias, situadas en las axilas de las hojas; la corola es de color violáceo y de 2 a 3 cm de longitud; las vainas miden de 6 a 8 cm y contienen de 4 a 10 semillas de forma y colorido variable, de 4 a 5 mm de diámetro (Sánchez, op. cit.).

### d. Condiciones de cultivo.

La veza crece mejor en climas templado-húmedos y no debe exponerse a oscilaciones bruscas de temperatura una vez que se inicia la floración. Las plántulas son muy sensibles al frío y lo pueden tolerar sólo hasta que poseen de 3 a 5 hojas verdaderas; si se corta durante el invierno a ras del suelo, tiene la capacidad de retoñar en primavera. Puede tolerar temperaturas elevadas (Guerrero, op. cit.).

Requiere una precipitación mínima de 400 mm, no tolera la sequía, pero un exceso de humedad la hace muy susceptible al ataque de *Peronospora viciae*, *Ascochyta pisi*, larvas y pulgones.

Se adapta a casi todos los tipos de suelo, siempre que no sean salinos; crece en suelos ácidos o ligeramente alcalinos, pero el pH óptimo es de 6.5 (Hycka citado por Guerrero, op. cit.). Se desarrolla mejor en suelos arcillo-calizos o arcillo-silíceo-calizos y puede crecer en suelos arenosos pero con humedad.

Es recomendable sembrarla al volco y en asociación con un cereal para que éste sirva de tutor y la veza no se pudra, así como para disminuir los efectos de la vicina, la cual es tóxica para el ganado.

La veza para forraje debe cosecharse cuando alcanza su mayor volumen y peso, al inicio de la floración o durante ésta, de manera que la cantidad de proteínas, celulosa y vicina esté equilibrada, lo cual no ocurre en las plantas jóvenes.

La cosecha para el grano es complicada a causa de la maduración escalonada, por lo tanto, debe llevarse a cabo cuando las vainas inferiores están totalmente maduras y las medias y extremas estén bien formadas pero sin haber llegado a la madurez (Gerrero, op. cit.).

#### **e. Importancia.**

Es un cultivo muy estimado porque mejora la producción del cereal con el que se asocia o el que le sigue, debido a la fijación de nitrógeno por su simbiosis con bacterias y al gran aporte de materia orgánica cuando se deja como abono verde.

El forraje que proporciona es de un elevado valor nutritivo; las plantas jóvenes contienen más proteínas, grasas, carotenos y vitamina A que las plantas maduras, sin embargo, tienen la desventaja de tener una cantidad mayor de vicina, glucósido que origina ácido cianhídrico, altamente tóxico para el ganado y que hace necesario mezclar el forraje con algún otro y de esta manera disminuir los efectos de la vicina. Por otro lado, el forraje de plantas adultas no representa ningún peligro para los animales, sólo disminuye un poco el valor nutritivo y aumenta la cantidad de celulosa en la planta.

El grano se utiliza para la alimentación de aves, las cuales no son afectadas por la vicina y de otros animales, para lo cual es necesario mezclarlo con otros granos no tóxicos. La cantidad de veza no debe ser superior al 20 o 30% en las mezclas (Guerrero op. cit.).

### **3. SOLUCION NUTRITIVA.**

El término "hidroponia" se usó por primera vez en 1937 para describir un método de nutrición vegetal, en el cual las raíces se encuentran inmersas en una solución diluída de sales fertilizantes. Este método originalmente fué usado únicamente para estudios de nutrición vegetal, sin embargo, la técnica se ha ido modificando y actualmente se usa también con fines comerciales y se conoce como "cultivo en solución".

Las modificaciones al método se basan, principalmente, en el uso de un sustrato sobre el cual se aplica la solución nutritiva y que puede ser: grava, arena, roca volcánica o algún otro material inerte que actúa como soporte para el sistema radical de las plantas y posee una buena capacidad de retención de agua y nutrimentos (Johnson, 1980).

El cultivo en solución ofrece grandes posibilidades de producción, aún en condiciones climáticas adversas, lugares muy secos, muy húmedos, con temperaturas extremas, en terrenos

altamente erosionados, etc. La solución nutritiva permite un completo control en el aporte de nutrimentos y su uso está plenamente justificado cuando el suelo no reúne las características necesarias para el establecimiento de un cultivo (Johnson, op. cit.).

Las investigaciones sobre nutrición vegetal han dotado de fórmulas para la elaboración de soluciones nutritivas, la mayoría de las cuales se han obtenido mezclando los nutrimentos en diferentes proporciones, teniéndose como base la cantidad en que se encuentra cada nutrimento en las plantas y probándolas con diferentes especies. La mezcla en la que mejor se desarrolla un cultivo se propone como específica para el mismo.

Sin embargo, la información sobre las necesidades nutricionales de las plantas no es completa, hay especies cuyos requerimientos nunca han sido estudiados y la aplicación de una solución nutritiva debe hacerse un poco al azar o probando diferentes fórmulas. No obstante, hay soluciones que han sido probadas para diferentes cultivos y han dado resultados satisfactorios (Maldonado, 1961).

Los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua para preparar la solución nutritiva. De este modo, se pueden satisfacer también sus necesidades hídricas. Sin embargo, la absorción de los diversos minerales y del agua es comparativamente diferente y depende no sólo de la naturaleza del cultivo, sino también de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, intensidad lumínica, etc.), del estado de desarrollo de la planta, y de la evapotranspiración. De lo anterior resulta, que es necesario determinar la frecuencia de aplicación de la solución nutritiva a fin de que sea la adecuada para cubrir las necesidades del cultivo (Resh, 1978).

El fenómeno de evapotranspiración ocasiona que las plantas tomen, proporcionalmente, mucho más agua que elementos nutritivos, de tal manera que al disminuir el volumen de solución, aumenta su concentración, incrementándose con ello la presión osmótica y el pH, lo que provoca una disminución en la absorción de agua por las raíces y el posterior marchitamiento de las plantas. Para mantener la presión osmótica y los niveles correctos de nutrimentos en la solución, es necesario restituir el agua perdida por evapotranspiración, aplicándola en los intervalos entre cada aplicación de solución y de acuerdo a los requerimientos de cada cultivo (Sánchez y Escalante, 1981).

Otros factores que son determinantes para el buen desarrollo de un cultivo en solución y que por lo tanto deben controlarse y adecuarse a los requerimientos específicos del cultivo son: calidad y cantidad de agua, pH tanto del agua como de la solución, balance de los elementos nutritivos y volumen de la solución (Sánchez y Escalante, op. cit.).

Actualmente, existen más de 300 fórmulas para preparar soluciones nutritivas que se han probado con éxito en todo el mundo. Algunas son adecuadas para cultivos y condiciones climáticas específicas, mientras que otras se utilizan en condiciones y cultivos diferentes. La elección de una fórmula determinada, depende fundamentalmente de la experiencia obtenida con investigaciones en condiciones semejantes (Sánchez y Escalante, *op. cit.*).

Entre las soluciones más usadas se encuentran: la solución de Knop, la de Turner, la de Weihenstephan, la de Hoagland, la de California, entre otras (Resh, *op. cit.*; Kenyon, 1982; Renningsfeld y Kurzmann, 1983).

La solución de Hoagland, una de las más usadas en investigación, es una solución completa con macro y micro elementos, con un pH de 7 y sin problemas de solubilidad, que se ha ido modificando ligeramente para adaptarla a situaciones particulares y se ha probado con numerosas especies.

De acuerdo con Renningsfeld y Kurzmann (1983), la solución de Hoagland se ha utilizado para 50 especies diferentes, obteniendo resultados satisfactorios. Se reporta también como adecuada para la cebada (Pessaraki *et al.*, 1991), trigo (Weinberger y Yee, 1984; Maas y Grieve, 1990; Wood, 1990; Pessaraki *et al.*, *op. cit.*; Wilkinson y Ohki, 1991; Singh *et al.*, 1991), maíz (Qi *et al.*, 1990; Singh *et al.*, *op. cit.*), arroz (El-Massry *et al.*, 1991), centeno (Pihakaski y Antikainen, 1991), pastos (Acharya *et al.*, 1992), frijol (Leita *et al.*, 1991), chícharo (Keng, 1991), alfalfa (Khattak *et al.*, 1991), soya (Wood, 1990; Henry *et al.*, 1992), girasol (Bowling y Watson, 1984; Wood, *op. cit.*), jitomate (Bouchibi *et al.*, 1990) y eucalipto (Marcar y Termaat, 1990; Yang, 1990).

#### 4. AGREGACION.

En los suelos, se pueden reconocer estructuras en la cuales las partículas están asociadas en pequeños "paquetes" conocidos como **agregados** o **peds**. Esta estructura es la condición ideal para el crecimiento de las plantas, ya que forma una capa ligera y porosa que permite el libre movimiento de agua y aire, facilitando el crecimiento radical y desarrollo del cultivo (Hillel, 1982).

Un agregado es un grupo de dos o más partículas primarias que tienen una cohesión mucho más fuerte entre ellas que con las partículas que las rodean (Black *et al.*, 1965). Hillel (*op. cit.*), señala que puede haber microagregados que son agrupaciones de las unidades más finas de un suelo (arcillas) y macroagregados, que miden desde algunos milímetros hasta varios centímetros y están constituidos por pequeños grupos de microagregados.

Aún cuando hay un criterio universal para clasificar a los agregados, pueden describirse con base en tres criterios: (1) el tipo, que se refiere al aspecto o forma de los agregados; (2) la clase, que es el tamaño y (3) la categoría, que representa el grado de durabilidad de los mismos y puede ser dividida a su vez en muy pobre, débil, moderada y fuerte (Narro, 1994).

La formación de agregados depende principalmente de las fuerzas de cohesión y factores que mantienen unidas a las partículas primarias, entre los que destacan, (1) la presencia de coloides orgánicos e inorgánicos; (2) los cationes intercambiables como el calcio, magnesio y potasio que neutralizan las cargas negativas de los coloides; (3) los cementantes inorgánicos que ayudan a formar agregados estables; (4) la textura del suelo, que indica la proporción de partículas primarias y (5) los micro y macroorganismos que tienen efectos físicos y químicos sobre el suelo (Narro, 1994).

La distribución, tamaño y estabilidad de los agregados en un suelo, es de gran importancia pues de ellos dependen la susceptibilidad a la erosión y el tamaño del espacio poroso, factor responsable de la distribución del aire y del agua en el suelo (Black *et al.*, *op. cit.*; Lal y Greenland, 1979).

Las fuerzas involucradas en el tamaño y estabilidad de los agregados son: (1) fuerzas de impacto y rompimiento, (2) fuerzas abrasivas y (3) humedecimiento del suelo (Black *et al.*, *op. cit.*).

Después de un cultivo, el tamaño de los poros depende de la distribución de los agregados, los cuales pueden ser destruidos durante la labranza. El tamaño de los agregados determina su susceptibilidad al arrastre por aire o por agua. En el caso de la erosión hídrica, los flujos sobre la superficie del suelo suministran energía capaz de desprender partículas o grupos de ellas que durante su movimiento ejercen una acción abrasiva, aumentando su efecto desintegrador. La erosión eólica se da de manera similar, pero cuando el suelo está seco, ya que se ha demostrado que la estabilidad de los terrones en seco es un buen indicador de la resistencia del suelo a dicho fenómeno (Black *et al.*, *op. cit.*).

Los agregados deben ser lo suficientemente estables para mantener las características de los poros, aún con cambios abruptos de humedad, lluvia intensa y efectos de labranza. Cuando la superficie del suelo contiene agregados estables, el agua penetra fácilmente, pero si no lo son, el material se dispersa con el agua y el movimiento horizontal de las partículas superficiales provoca una obstaculización de los poros del subsuelo, lo que impide el desarrollo radical, el movimiento del agua y el intercambio gaseoso (Lal y Greenland, *op. cit.*; Utomo y Dexter, 1982).

Para aumentar la estabilidad de los agregados, numerosos autores sugieren el uso de especies vegetales. Se destaca la influencia de un cultivo en la agregación del suelo en función de la actividad radical, la densidad y continuidad de la superficie cubierta y del modo y frecuencia del cultivo (Hillel, *op. cit.*; Reid y Goss, 1981; SEP, 1982; Bartoli *et al.*, 1988; Zebrowski, 1991; Diné, 1991; Ellsworth *et al.*, 1991; Angers *et al.*, 1992; Dorioz *et al.*, 1993; Tisdall, 1994).

Los microorganismos agregan las partículas por mecanismos complejos como la adsorción, envoltura o enrollamiento físico y por cementación con productos mucilaginosos, de los que destacan los polisacáridos.

## 5. INTERACCION SUELO - PLANTA.

Se habla mucho del efecto de las plantas sobre las características del suelo, pero vale la pena subrayar el hecho de que son las raíces las que directamente actúan sobre el suelo y las responsables de los principales cambios que se llevan a cabo en la rizósfera. Las raíces constituyen el nexo entre la planta y el suelo, son un sistema de fijación y llevan a cabo las funciones vitales de absorción de agua y nutrimentos, por otra parte, cuando mueren aumentan la cantidad de materia orgánica en el suelo.

Cada especie tiende a desarrollar un sistema radical distintivo, pero suele modificarse de acuerdo con las características edáficas tales como la textura, el grado de compactación, la humedad, la profundidad de la capa fértil, la distribución de los poros, la aireación, retención de agua, pH y la disponibilidad de nutrimentos, factores que influyen en el modelo de desarrollo, profundidad y extensión de la raíz. Aunque el tipo de enraizamiento puede determinar el volumen que ocupa el sistema radical, el número y la distribución de las raíces pequeñas determina la intensidad con que se utiliza el volumen de suelo ocupado (Pritchett, 1986; Bathke et al., 1992).

Las raíces tienen un papel importante en la formación de agregados del suelo, aumentan su estabilidad y mejoran la estructura. Ejercen con su crecimiento una presión sobre las capas lo que ocasiona una compresión de las partículas y una separación de los agregados. Provocan la abertura de numerosas grietas en suelos muy compactos y, mediante la producción de exudados y la continua muerte de raicillas, promueven la producción de cementantes húmicos y un aumento en el contenido de materia orgánica (Hilell, op. cit.).

Las raíces de los árboles constituyen una fuerza estabilizadora importante en las regiones montañosas donde el suelo está expuesto a la erosión. Intervienen aumentando el contenido de materia orgánica del suelo mineral y ayudan en la liberación lenta de los elementos almacenados en los compuestos orgánicos. Las raíces de las especies forestales influyen también en el imperismo del suelo. Se establecen en grietas del lecho rocoso, abriendo canales en los suelos compactados para la circulación del agua y el intercambio gaseoso; éste ambiente favorece la proliferación de microorganismos, la solubilización de los minerales y la mineralización de los nutrimentos (Pritchett, op. cit.).

Avila citado por Sánchez (1981), realizó una investigación estableciendo diferentes especies forestales: eucalipto, pino, pirúl y casuarina en capas cementadas, de la que obtuvo como resultado que todas las especies, pero principalmente el eucalipto, tuvieron un alto porcentaje de sobrevivencia. Peña (1987), menciona que la mayoría de las raíces de los árboles forestales son capaces de crecer en capas cementadas y mejorar la estructura gracias a la fuerza de su penetración, en lo que coincide con otros autores que han utilizado estas y otras especies

arbóreas para reforestar zonas degradadas (Pedraza *et al.*, 1987; Zebrowski, 1991; Llerena y Sánchez, 1991; Arias, 1991; Pimentel, 1991; Guerra y Garzón, 1991).

El crecimiento radical, como ya se mencionó, puede ser el mejor factor para controlar tanto la dirección como la magnitud de los cambios en la estructura del suelo y la estabilidad de los agregados bajo cultivo (Reid y Goss, 1981).

Se ha sugerido que las raíces de ciertos cultivos ejercen importantes efectos benéficos en el suelo, sin embargo, no son muchos los trabajos enfocados a estudiar los cambios edáficos y sus características. Easterwood y colaboradores (1991), determinaron la influencia del cultivo de soya y trigo en el intemperismo de un suelo de roca basáltica y encontraron que la soya promueve la formación de esmectita (arcilla), mientras que el trigo no afecta los porcentajes texturales. Por otro lado, Ellsworth y colaboradores (1991) reportan que la erosión del suelo es menos intensa después de un cultivo de maíz que de uno de soya debido a que la estabilidad de los agregados formados bajo la acción de la soya es temporal.

Reid y Goss (*op. cit.*), estudiaron el efecto de cinco especies sobre la agregación del suelo y encontraron que el pasto y la alfalfa promueven la estabilidad de los agregados probablemente debido a la producción de materiales generados en la rizósfera y que el maíz, el jitomate y el trigo bajan la estabilidad de los agregados en suelo fresco, pero el efecto no se detecta en las muestras secadas al aire. Así mismo, no existe una relación entre la longitud de la raíz y el grado de estabilidad.

Las plantas con raíces profundas pueden usarse para perforar las capas compactadas. Las raíces de cultivos perennes reocupan viejos canales, pero éstos generalmente son destruidos durante la labranza (Bathke *et al.*, *op. cit.*). Al respecto, Karimian y Razmi (1990) reportan que las plantas perennes causaron una acumulación de materia orgánica superior al 7% en suelos que típicamente contienen menos del 1% y que las concentraciones de fósforo, potasio, manganeso, zinc y cobre variaron bajo la influencia de los diferentes géneros de plantas.

Los pastos tienen muy buen efecto sobre las capas fuertemente compactadas o cementadas y se pueden seleccionar con base en su capacidad de penetración. Tienen un sistema radical muy fino y resistente capaz de penetrar en poros sumamente pequeños (Bathke *et al.*, *op. cit.*).

El factor común en los trabajos realizados, es la certeza de que las plantas son el factor principal para la modificación de la estructura del suelo y el aumento en la estabilidad de los agregados.

### **III. OBJETIVOS.**

#### **Objetivo General.**

Contribuir con información básica a la integración de los tepetates al proceso productivo.

#### **Objetivos Específicos.**

1. Determinar las características físicas y químicas del tepetate estudiado.
2. Determinar los cambios porcentuales de las partículas minerales por efecto de los cultivos.
3. Cuantificar el nivel de disgregación y agregación causado por los cultivos.
4. Determinar el efecto de los diferentes cultivos sobre el contenido de materia orgánica y nivel de acidez o alcalinidad en el tepetate.
5. Determinar la producción de biomasa de los cultivos en los tratamientos estudiados.

#### IV. CARACTERIZACION DE LA ZONA DE MUESTREO DEL TEPETATE.

##### 1. Localización.

La recolecta del duripán se realizó en el estado de Morelos, el cual se ubica en la parte sur y centro de la República Mexicana entre los paralelos  $18^{\circ} 22' 08''$  y  $19^{\circ} 07' 10''$  de latitud norte y los meridianos  $98^{\circ} 73' 08''$  y  $99^{\circ} 30' 09''$  de longitud oeste.

La zona de recolecta se localiza al sureste del municipio de Tetela del Volcán entre los paralelos  $18^{\circ} 51' 32''$  y  $18^{\circ} 54' 42''$  de latitud norte y los meridianos  $98^{\circ} 41' 13''$  y  $98^{\circ} 46' 52''$  de longitud oeste y a una altitud de 1930-2130 m.s.n.m. (Marañón, 1994).

##### 2. Fisiografía y geología.

El estado de Morelos se encuentra entre dos provincias fisiográficas: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur (S.P.P., 1981).

El municipio de Tetela del Volcán está ubicado en la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, perteneciente a la provincia Eje Neovolcánico, caracterizada por una constitución ígnea resultado de la actividad volcánica de mediados del Terciario (S.P.P., *op. cit.*).

En todo el estado hay afloramientos de rocas ígneas recientes y sedimentarias del Cretácico Inferior, siendo las volcánicas las más abundantes. En el municipio de Tetela del Volcán predominan rocas ígneas extrusivas como el basalto, la toba y la brecha volcánica que datan del período Cuaternario, por otro lado, en la zona de colecta predominan los depósitos clásticos de material volcánico, los derrames lávicos y los lahares o derrames de lodo (Marañón, *op. cit.*).

##### 3. Hidrología y Edafología.

El estado de Morelos está comprendido en la región hidrológica "Río Balsas". En el municipio de Tetela del Volcán, los escurrimientos provenientes del Popocatepetl forman el río Jantetelco o Amatzinac, que tiene un curso de 35 km y un caudal permanente; su cuenca hidrológica abarca todo el municipio, además de una serie de arroyos de caudal temporal (S.G.G.E.M. 1988).

En el estado, los suelos más abundantes son los Feozem, Regozoles, Luvisoles, Andosoles, Rendzina y Vertisoles (S.P.P., op. cit.). En Tetela del Volcán, los suelos corresponden a climas semicálidos y templados húmedos y son de origen residual y volcánico. En la zona de recolecta los suelos son Andosoles y Luvisoles.

#### **4. Clima.**

En el estado de Morelos se presentan climas cálidos, semicálidos, templados y semifríos.

En la zona de estudio el clima es templado húmedo, Cb(m)(w)ig, el más húmedo de los templados con lluvias en verano y menos del 5% de lluvias en invierno.

La mayor incidencia pluvial se presenta en julio con una precipitación de 330 a 380 mm y la menor en febrero y diciembre con un valor menor de 10 mm. La precipitación media anual es de 1200 a 1800 mm.

La temperatura media anual oscila entre 14 y 20°C. Los meses más cálidos son marzo, abril, mayo y junio, con una temperatura de 15 a 19°C y el más frío es diciembre con una temperatura de 10 a 15°C (S.P.P., op. cit.).

#### **5. Vegetación.**

Gran parte del suelo del estado de Morelos actualmente está ocupado por la agricultura, motivo por el cual, la vegetación no es muy diversa. En el Municipio de Tetela del Volcán, la vegetación está formada por bosques de oyamel, bosques de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, vegetación secundaria, agricultura de riego, agricultura de temporal y selva baja caducifolia (S.P.P., op. cit.; Rzendowski, 1978).

En la zona de recolecta la vegetación nativa la conforman bosque de encino, bosque de pino y vegetación secundaria, también hay cultivos de frijol, maíz, jitomate y árboles frutales introducidos por el hombre (Marañón, op. cit.).

#### **6. Uso del suelo.**

Del total de la superficie del estado de Morelos, el 60% son tierras con capacidad agrícola. En la zona de recolecta, el uso principal del suelo es agrícola. Se considera que el 85% del suelo está dedicado a la agricultura de tracción animal continúa y un 15% a la mecanizada continúa (Marañón, op. cit.).

## V. METODOLOGIA.

La metodología de investigación constó de 5 etapas, las cuales se muestran a continuación.

### **FASE 1. Gabinete.**

#### **A. Acopio de información bibliográfica.**

Se recopiló la información bibliográfica disponible sobre los diferentes aspectos que comprende el estudio. Se llevó a cabo posteriormente su revisión y análisis.

#### **B. Selección del sitio de muestreo.**

El sitio de recolecta de los duripanes se seleccionó con base en estudios ya realizados sobre los tepetates del estado de Morelos. El presente estudio forma parte de un proyecto de investigación institucional sobre capas endurecidas en dicho estado. El proyecto se desarrolla en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la U.N.A.M., a cargo del Dr. David Flores Román.

#### **C. Selección de las especies vegetales.**

Se hizo una revisión sobre las especies vegetales anuales y perennes más recomendables para la recuperación de suelos y cuyas características fueran adecuadas a los fines de la investigación. Con base en dicha revisión, se seleccionaron seis especies anuales o de ciclo corto: soya, lenteja, trigo, cebada, girasol y jitomate; y seis especies perennes: veza, sorgo, pasto Rhodes, pirúl, casuarina y eucalipto. Las especies arbóreas fueron seleccionadas además, por su rusticidad y capacidad comprobada para establecerse en medios adversos.

#### **D. Selección de la solución nutritiva y dosis de aplicación.**

Para la selección de la solución más adecuada, se hizo una revisión de los trabajos hechos sobre nutrición vegetal en las especies seleccionadas y otras afines. Sobre tal base, se seleccionó la solución de Hoagland para las doce especies. Así mismo, se calculó el volumen y frecuencia de aplicación, siendo éstos de 350 ml cada quince días. Entre cada aplicación de solución se

agregó agua en función de las necesidades de las plantas. La fórmula de la solución nutritiva que se aplicó es la siguiente:

	g/l
Nitrato de potasio.....	0.54
Nitrato de calcio.....	0.09
Fosfato monocálcico.....	0.14
Sulfato de magnesio.....	0.13
Sulfato de zinc.....	0.0008
Sulfato de cobre.....	0.0006
Sulfato de hierro.....	0.014
Sulfato de manganeso.....	0.002
Acido bórico.....	0.01

#### E. Selección del nivel de trituración del duripán.

Se eligieron para el estudio dos niveles de trituración, uno, al que se denominó fino, formado por partículas menores de 2 mm y el otro denominado grueso, formado por fragmentos de 2 a 20 mm.

F. Selección de las metodologías específicas para la evaluación de las variables de respuesta.

Las variables de respuesta fueron: a) caracterización física y química del tepetate, b) textura, c) disgregación y agregación, d) pH y materia orgánica y e) rendimiento de los cultivos.

#### G. Análisis estadístico de los resultados.

A los datos resultantes se les practicó un análisis de varianza considerando un experimento bifactorial para determinar el efecto de los tratamientos. En aquellos casos donde hubo un efecto significativo, se practicó la prueba de Tukey para determinar diferencias significativas de medias.

#### FASE 2. Campo.

El trabajo de campo se realizó en dos etapas:

#### **A. Localización del sitio de muestreo.**

La zona de muestreo se localiza al sureste del municipio de Tetela del Volcán, en el estado de Morelos.

#### **B. Recolección del duripán.**

La recolección del tepetate se realizó en agosto de 1993. El sitio era una zona completamente erosionada donde el tepetate afloraba. La capa cementada se fracturó con herramientas comunes (zapapico, barreta, cincel y marro) y los fragmentos se colocaron en costales hasta completar cantidades de 30 kg aproximadamente. Posteriormente, se transportaron al invernadero. En total, se recolectaron aproximadamente 800 kg de tepetate (Figura 3).

### **FASE 3. Preparación del experimento.**

Las actividades previas al establecimiento del experimento en el invernadero fueron:

#### **A. Molienda del tepetate.**

El tepetate se fracturó en forma manual y se pasó a través de un tamiz de 2 mm, para separar las fracciones adecuadas para el experimento. Todo el material que pasó por la malla de 2 mm constituyó el nivel de trituración fino. El nivel grueso se constituyó con todo el material que no pasó la malla de 2 mm, pero no mayor de 20 mm (Figura 4).

#### **B. Preparación de las macetas.**

Se utilizaron macetas de plástico de color café y rojo con capacidad de 6 Kg, con una altura de 25 cm, diámetro inferior interno de 15 cm y diámetro superior interno de 25 cm. Se seleccionaron sin perforaciones para evitar la pérdida de agua y de los materiales más finos como limos y arcillas.

Cada maceta se etiquetó y rotuló con una leyenda en la que se incluyeron las dos primeras letras del nombre común de la planta; un número arábigo indicando la etapa del experimento; la inicial del nivel de trituración del tepetate y un número romano para indicar el número de repetición; por ejemplo:



Figura 3. Sitio de recolecta del duripán en el noreste del estado de Morelos.

So	1	F	III
Planta	Etapa	N.F.	Repetición
SOYA	1	FINO	3

### C. Cálculo del volumen de agua para la saturación del duripán.

Debido a la ausencia de perforaciones en las macetas, fué necesario hacer pruebas para determinar la cantidad de agua suficiente para la saturación del material triturado y evitar deficiencias o excesos. Se tomaron tres muestras de 500 g de tepetate para cada nivel de trituración y se colocaron en recipientes de vidrio para poder observar el momento de la saturación, posteriormente se les aplicaron volúmenes conocidos de agua y se colocaron en el invernadero. Se seleccionó el volumen de agua que dió resultados más satisfactorios para cada nivel de trituración y esos resultados se adecuaron a la cantidad de duripán utilizado en las macetas.

### D. Preparación de las especies vegetales.

Se compraron semillas de cada una de las especies elegidas, excepto de las arbóreas y se hicieron pruebas de germinación. Posteriormente, se pusieron a germinar aproximadamente 40 semillas de cada especie en charolas con vermiculita. Cada semilla se colocó a una profundidad aproximada de 1 cm y se cubrió con el sustrato. Las charolas se etiquetaron y únicamente se usó agua para mantener un nivel satisfactorio de humedad (Figura 5).

Las especies arbóreas, de aproximadamente 5 meses de edad, se obtuvieron del vivero de Coyoacán, D.F., todas tenían una altura aproximada de 60 cm y se encontraban sanas y vigorosas. Se mantuvieron en el invernadero varios días antes del trasplante para que se aclimataran a las condiciones del mismo.

### E. Preparación de la solución nutritiva.

Se calculó el volumen de solución nutritiva necesario para todas las macetas y se preparó de acuerdo con la fórmula de Hoagland.



Figura 4. Trituración del tepetate en el invernadero del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

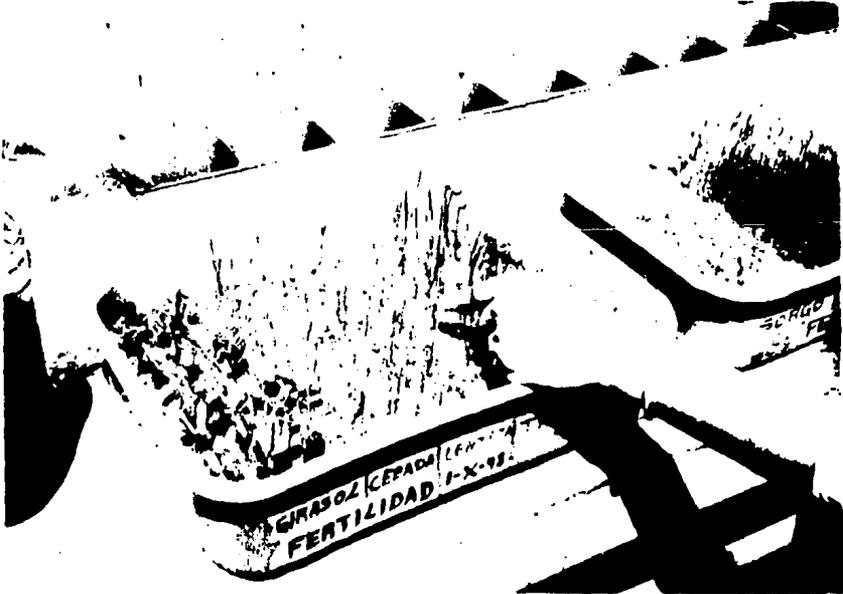


Figura 5. Germinación de las semillas de los cultivos utilizados en la experiencia.

#### **FASE 4. Invernadero.**

##### **A. Planteamiento.**

El experimento se realizó en el invernadero del Instituto de Geología de la U.N.A.M., mismo que se localiza a un costado del Instituto (Figura 6).

Se utilizó un diseño experimental bifactorial con distribución de los tratamientos completamente al azar y tres repeticiones. Los factores estudiados fueron:

**FACTOR A:** Plantas. a) seis anuales y b) seis perennes

**FACTOR B:** Nivel de trituración del tepetate. a) fino y  
b) grueso.

En total se establecieron 24 tratamientos con tres repeticiones, es decir, 72 unidades experimentales y un testigo absoluto para cada nivel de trituración (constituído por el tepetate original sin ningún tratamiento) con tres repeticiones cada uno, 78 unidades experimentales en total (Tabla 1).

##### **B. Establecimiento.**

Las macetas se llenaron con la cantidad de duripán establecida: 5.5 kg para el nivel fino y 4.1 kg para el nivel grueso; posteriormente, se saturó el material con 1100 y 1000 ml de agua, respectivamente y se llevó a cabo el trasplante el 13 y 14 de octubre de 1993 (Figura 7).

Para el trasplante, se retiró cuidadosamente el sustrato de la raíz de las plántulas de 15 días de edad y de las especies arbóreas, teniendo cuidado de no dañarlas y se colocaron en las macetas con tepetate.

Los primeros 10 días después del trasplante fueron de aclimatación de las plantas al nuevo medio. Algunos árboles murieron y fueron remplazados, pero el día 25 de octubre de 1993 quedó establecido el experimento (Figura 8).

A los 8 días del trasplante se aplicaron 350 ml de solución nutritiva a cada maceta, repitiéndose la operación cada 15 días durante todo el ciclo de cultivo. En los intervalos entre una aplicación y otra de solución, se suministró agua de acuerdo con las necesidades de las plantas.

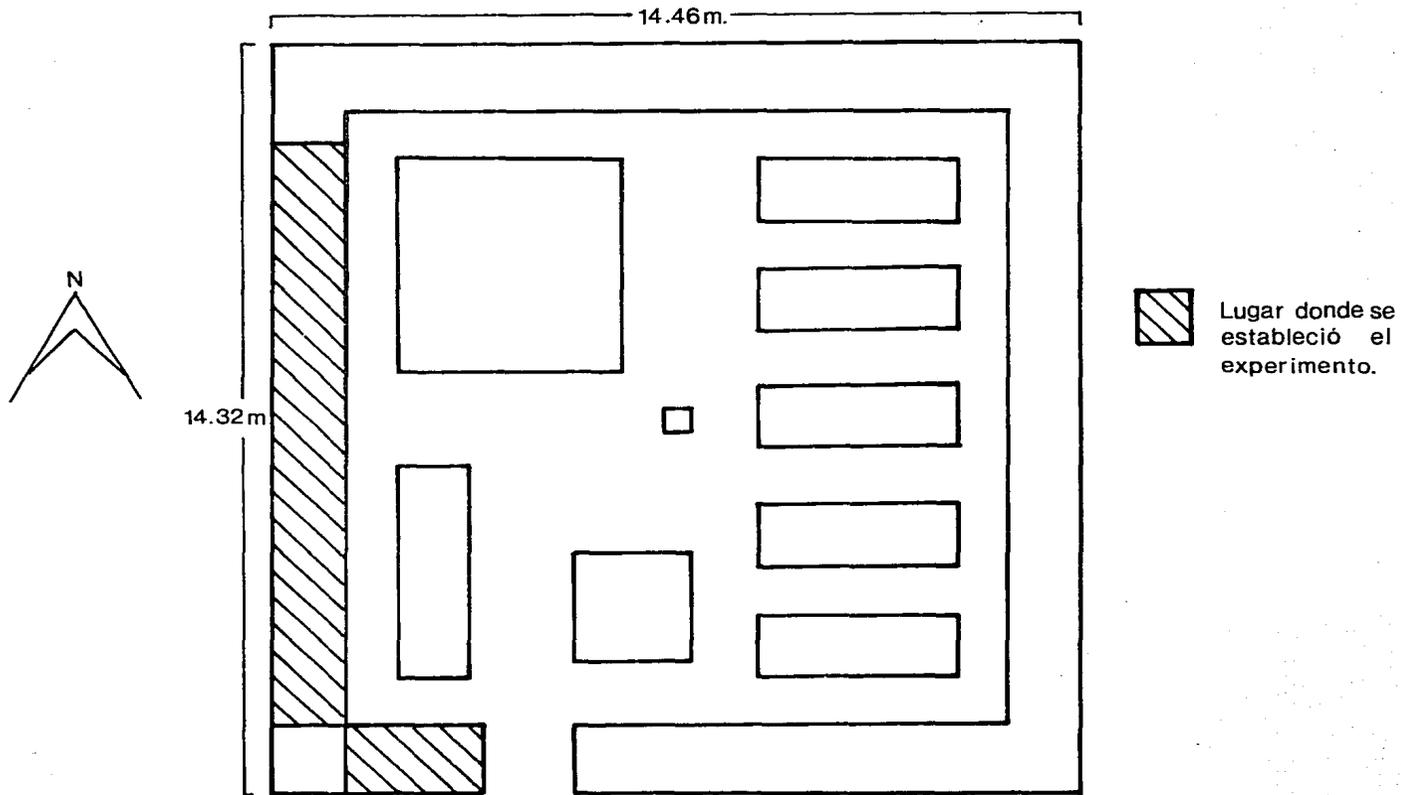


FIGURA 6 Invernadero del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

Tabla 1. Tratamientos utilizados

No. Trat.	Planta	Etapas	Nivel de Trituración	Repetición	Plantas por Repetición	Clave mace-ta
1	Testigo	1	Fino	I, II, III	0	---
2	Testigo	1	Grueso	I, II, III	0	---
3	Soya	1	Fino	I, II, III	2	So 1 F
4	Soya	1	Grueso	I, II, III	2	So 1 G
5	Soya	1	Fino	I, II, III	9	Le 1 F
6	Lenteja	1	Grueso	I, II, III	9	Le 1 G
7	Trigo	1	Fino	I, II, III	3	Tr 1 F
8	Trigo	1	Grueso	I, II, III	3	Tr 1 G
9	Cebada	1	Fino	I, II, III	3	Ce 1 F
10	Cebada	1	Grueso	I, II, III	3	Ce 1 G
11	Girasol	1	Fino	I, II, III	2	Gi 1 F
12	Girasol	1	Grueso	I, II, III	2	Gi 1 G
13	Jitomate	1	Fino	I, II, III	1	Ji 1 F
14	Jitomate	1	Grueso	I, II, III	1	Ji 1 G
15	Veza	1	Fino	I, II, III	2	Ve 1 G
16	Veza	1	Grueso	I, II, III	2	Ve 1 G
17	Sorgo	1	Fino	I, II, III	4	Sr 1 F
18	Sorgo	1	Grueso	I, II, III	4	Sr 1 G
19	Pasto Rhodes	1	Fino	I, II, III	4	Pr 1 F
20	Pasto Rhodes	1	Grueso	I, II, III	4	Pr 1 G
21	Pirul	1	Fino	I, II, III	2	Pi 1 F
22	Pirul	1	Grueso	I, II, III	2	Pi 1 G
23	Casuarina	1	Fino	I, II, III	2	Ca 1 F
24	Casuarina	1	Grueso	I, II, III	2	Ca 1 G
25	Eucalipto	1	Fino	I, II, III	2	Eu 1 F
26	Eucalipto	1	Grueso	I, II, III	2	Eu 1 G



Figura 7. Trasplante de las especies arbóreas.



Figura 8. Vista general del experimento ya establecido.

### C. Cosecha.

La cosecha se realizó al terminar el ciclo de las especies de ciclo corto y las perennes se cosecharon inmediatamente después. Para ambas, el período observado fué de seis meses después del trasplante (Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17).

El procedimiento para la cosecha fué el siguiente: primero se cortó la parte aérea de la planta a nivel del cuello y se colocó en una bolsa de papel debidamente etiquetada. Posteriormente, sobre un papel se sacó el sustrato de la maceta (Figura 18) y se separó la raíz y sus fragmentos enjuagándolos ligeramente en el tamiz de 2 mm para evitar su pérdida. Una vez limpias, las raíces se colocaron en una bolsa de papel con su etiqueta correspondiente.

Inmediatamente después de la cosecha, se tomó el peso fresco de todas las plantas, tanto de la parte aérea como de la radical. Una vez pesadas las bolsas, se colocaron en la estufa a 60°C hasta peso constante, para posteriormente, tomar el peso seco.

En el caso de las leguminosas, las gramíneas y el jitomate, se evaluó también el número de vainas, espigas y frutos, respectivamente, en el momento del corte.

El tepetate de las macetas se dejó en el invernadero sobre un papel periódico para que se secara al aire. Una vez seco, se mezcló perfectamente y se tomó una muestra representativa para los análisis de laboratorio (Figura 19).

### FASE 5. Laboratorio.

Se realizaron determinaciones físicas y químicas del material de cada una de las macetas. Las determinaciones realizadas fueron:

#### A. Físicas.

- a) Color en seco y en húmedo por comparación con las tablas de Munsell (1975).
- b) Textura por el método de Bouyoucus (1963).
- c) Porcentaje de agregación en seco por el método de Savvinov (citado por Kaúrichev *et al.*, 1980).
- d) Densidad aparente por el método de la probeta (Baver, 1956).
- e) Densidad real por el método del picnómetro (Baver, 1956).

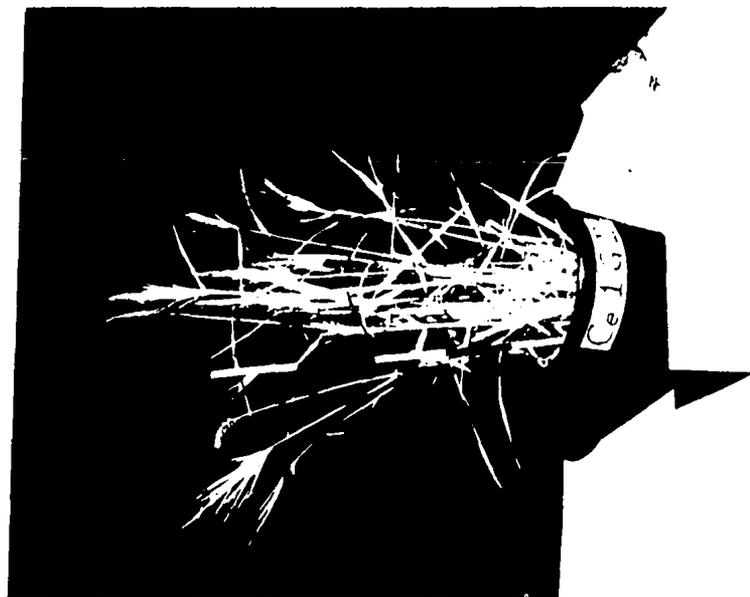


Figura 9. Cultivo de cebada al momento de la cosecha.

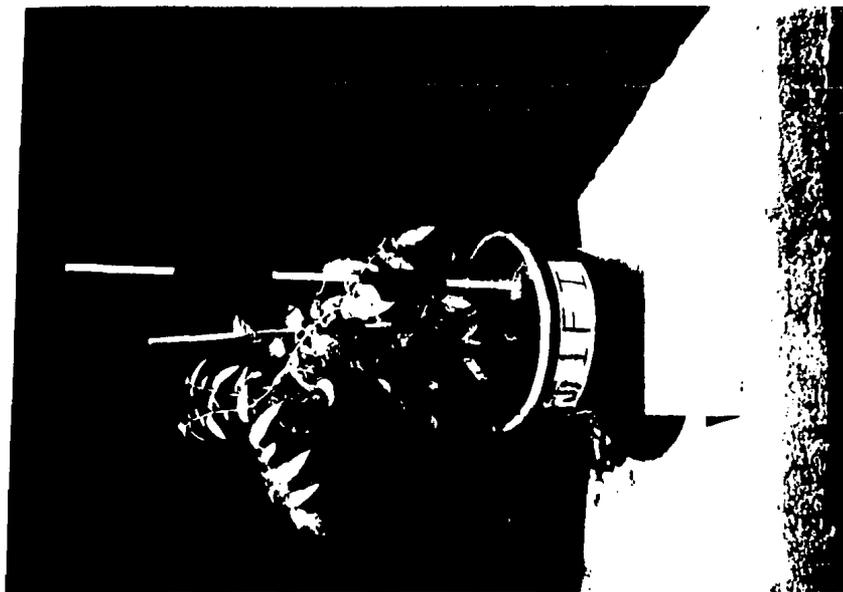


Figura 10. Cultivo de jitomate al momento de la cosecha.

Figura 12. Cultivo de soya al momento de la cosecha.

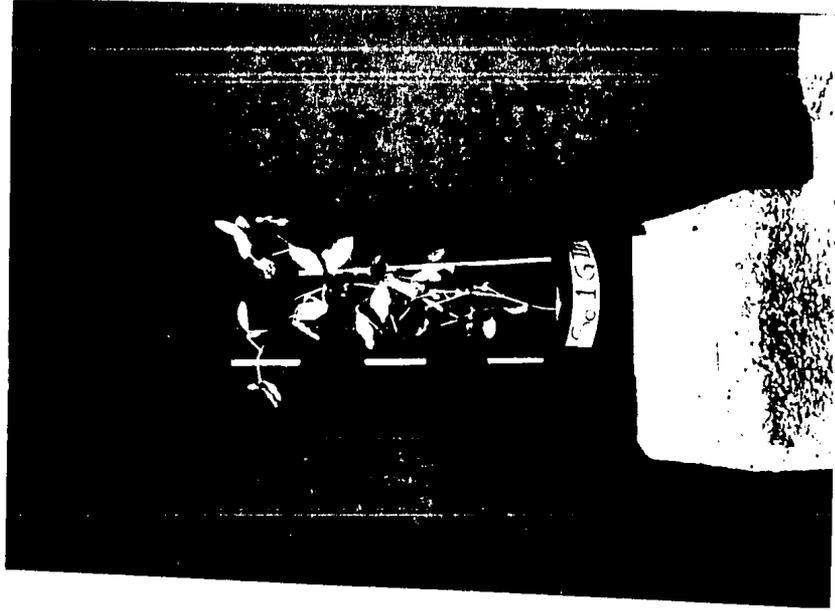


Figura 11. Cultivo de lenteja al momento de la cosecha.



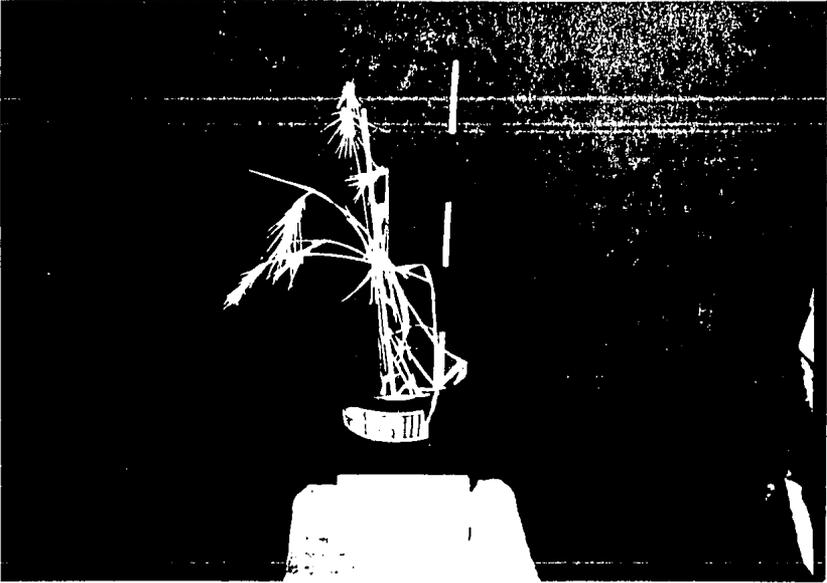


Figura 13. Cultivo de trigo al momento de la cosecha.

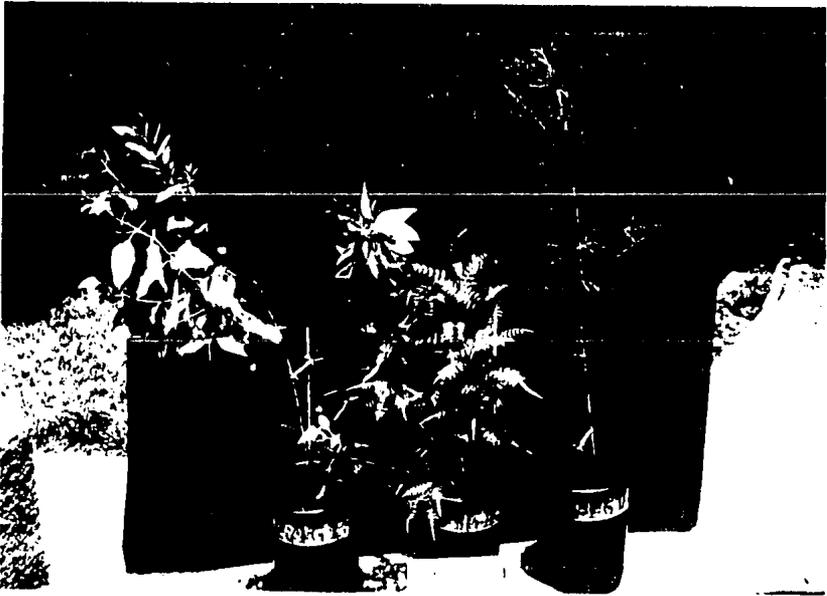


Figura 14. Cultivos de eucalipto, pirúl y casuarina al momento de la cosecha.

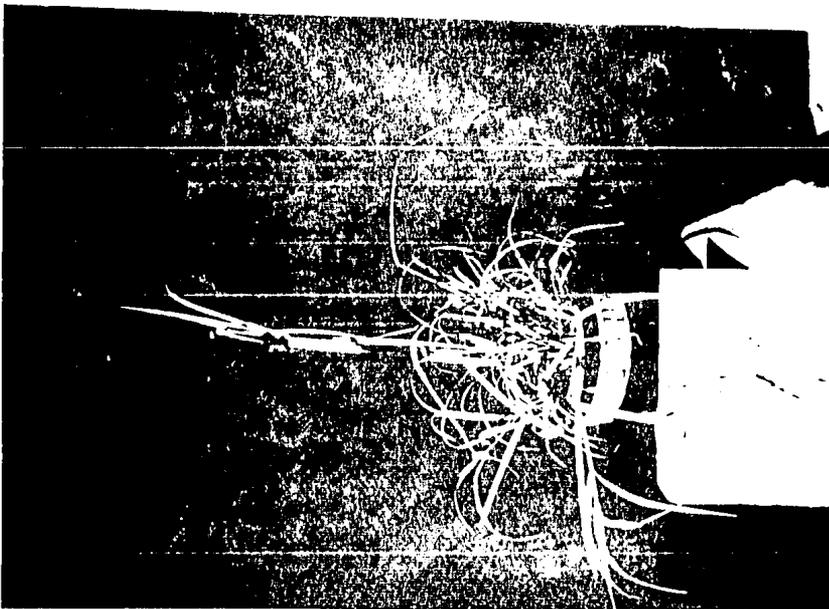


Figura 15. Cultivo de pasto Rhodes al momento de la cosecha.

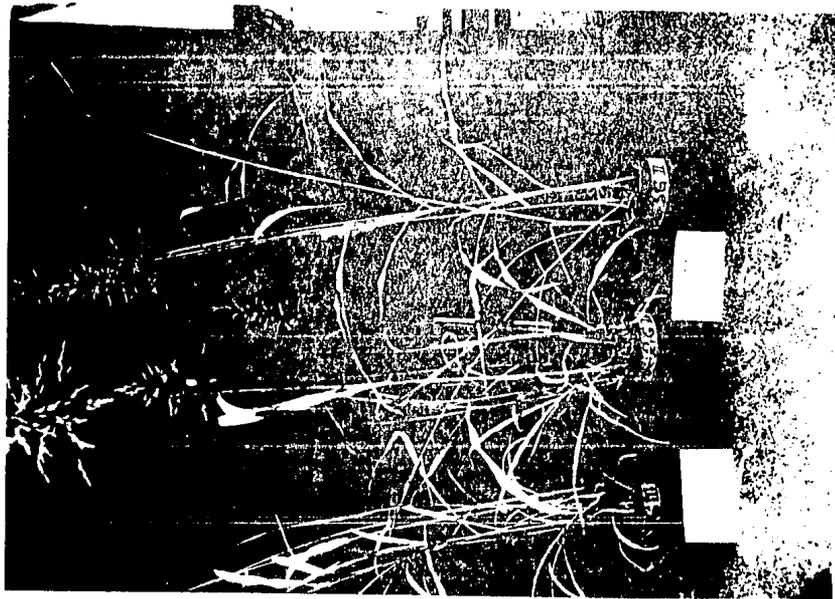


Figura 16. Cultivo de sorgo forrajero al momento de la cosecha.



Figura 17. Cultivo de veza al momento de la cosecha.



Figura 18. Vaciado del tepetate después de la cosecha.  
Nótese la profusidad de raíces de la soya.



Figura 19. Secado del tepetate después de la cosecha.  
Se hacen notar los macroagregados.

**B. Químicas.**

- a) Porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley y Black (1947).
- b) Determinación del pH en solución acuosa en proporción 2:1 con un potenciómetro marca Corning modelo 10.
- c) Capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.) por percolación con acetato de amonio 0.1 N a pH 7.
- d) Bases intercambiables por determinación en el extracto obtenido por percolación con acetato de amonio 0.1 N a pH 7. El calcio y el magnesio se determinaron por titulación con EDTA 1 N (Jackson, 1970) y sodio y potasio por flamometría con un flamómetro marca Corning modelo 400.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 1. Caracterización del tepetate.

En la Tabla 2, se presentan las propiedades físicas y químicas del tepetate utilizado en la experiencia.

El color es típico de los duripanes de origen volcánico en México. La densidad aparente da un valor bajo en relación a otros duripanes estudiados en el estado de Morelos (Marañón, 1994). La densidad real está congruente con el tipo de minerales ígneos que constituyen el tepetate. La textura de migajón arenoso es típica de la mayoría de los duripanes en México (Flores *et al.*, 1992)

Los cationes intercambiables, con dominio de calcio, muestran un equilibrio entre ellos. La capacidad de intercambio catiónico total es alta debido fundamentalmente, a la presencia de la sílice amorfa, ya que los porcentajes de arcilla y contenido de materia orgánica son bajos. La saturación de bases es baja por los niveles de precipitación altos que existen en la zona, lo cual da como resultado un pH ácido, casi neutro.

Lo anterior señala características favorables para el crecimiento de las plantas, pero pobreza de nutrimentos para las mismas.

### 2. Textura.

En la Tabla 3 se exponen los porcentajes de arena obtenidos después de la prueba. Se observó que a excepción del eucalipto en los dos niveles de trituración y el jitomate en grueso, todas las plantas restantes tienen incrementos porcentuales estadísticamente significativos mayores que el testigo. Tales incrementos fueron hasta de 17.5, como se observa para el sorgo en grueso.

Los incrementos de arena en casi todos los tratamientos se considera fueron debidos a la acción cementante de la sílice amorfa existente en éstos materiales. De tal manera, que partículas de limo y arcilla fueron cementadas y alcanzaron el nivel de arena muy fina (Williams *et al.*, 1985; Angers *et al.*, 1992).

Cabe señalar también, que el sorgo, lenteja, cebada, girasol y trigo fueron las plantas que, independientemente del proceso antes señalado, contribuyeron a alcanzar los porcentajes

**Tabla 2. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL TEPETATE USADO EN EL EXPERIMENTO.**

**Propiedades Físicas**

Color seco	Color húmedo	D.Á. (g/cm <sup>3</sup> )	D.R. (g/cm <sup>3</sup> )	Textura (%)		
				Arena	Limo	Arcilla
10YR6/6 Amarillo parduzco	10YR5/6 Pardo amarillento	1.1	2.3	64.0 Migajón arenoso	31.0	5.0

**Propiedades Químicas**

Cationes intercambiables (meq/100g)				C.I.C.T. (meq/100g)	saturación de bases (%)	pH	M.O. (%)
Ca	Mg	Na	K				
12.75	1.5	1.02	1.03	44.4	36.7	6.9	0.1



más altos. Por otra parte, los árboles estudiados obtuvieron los incrementos más bajos o como el eucalipto, igual que el testigo.

En la Tabla 4, se presentan los porcentajes de limo alcanzados por los diferentes tratamientos. Se observa a diferencia de la tabla de arena, que el limo disminuyó prácticamente en todos los tratamientos.

Tal disminución fué debida a la acción cementante de la sílice amorfa ya señalada, de tal manera que muchas de las partículas de limo se convirtieron en arena fina y muy fina.

Las plantas donde hubo mayor disminución de limo son las mismas donde se alcanzaron los porcentajes de arena más altos. Las especies arbóreas prácticamente no manifestaron reducción.

En la Tabla 5, se exponen los porcentajes de arcilla detectados en los tratamientos estudiados. Se observa una clara reducción de los porcentajes de arcilla, siendo las mismas plantas que alcanzaron los valores más altos de arena, las que obtuvieron los valores más bajos de arcilla.

Tales reducciones de arcilla son debidas al mismo proceso de la sílice cementante. En dicho proceso, las partículas de limo y arcilla al quedar agregadas constituyeron partículas de arena.

En la Figura 20, se presentan los resultados de las tres determinaciones, arena, limo y arcilla, se observa la tendencia en el caso de la arena a incrementarse sobre los testigos y en el caso del limo y la arcilla a disminuir.

### **3. Agregación.**

#### **A. Porcentajes de agregación en los tratamientos estudiados.**

El porcentaje de agregados menores de 0.25 mm, microagregados, se muestra en la Tabla 6. Todos los tratamientos en fino tuvieron porcentajes de agregación menores al testigo, lo que implica que los valores faltantes para igualar al testigo fueron disgregados y posteriormente constituyeron agregados de mayor tamaño, como se verá más adelante. Las especies en fino que menos agregaron fueron pasto Rhodes, soya y casuarina.

Tabla 4. Prueba de Tukey para el parámetro Textura (% Limo)

Planta	Nivel de Trituración	Limo %	Significación Estadística*
Eucalipto	Grueso	32.00	a
Testigo	Grueso	31.00	ab
Testigo	Fino	31.00	ab
Jitomate	Grueso	29.83	ab
Eucalipto	Fino	29.50	b
Pirul	Fino	26.33	c
Pirul	Grueso	25.17	cd
Pasto Rhodes	Fino	24.83	cde
Casuarina	Fino	24.83	cde
Jitomate	Fino	24.67	cde
Soya	Grueso	24.33	cde
Casuarina	Grueso	24.33	cde
Sorgo	Fino	23.83	def
Veza	Grueso	22.67	efg
Cebada	Fino	21.83	fgh
Pasto Rhodes	Grueso	21.67	fgh
Soya	Fino	21.50	fghi
Girasol	Grueso	20.67	ghij
Trigo	Fino	20.00	hijk
Lenteja	Grueso	19.67	hijkl
Veza	Fino	19.67	hijkl
Girasol	Fino	19.17	ijkl
Trigo	Grueso	18.83	jkl
Lenteja	Fino	17.67	kl
Cebada	Grueso	17.67	kl
Sorgo	Grueso	17.50	l

ANDEVA            Factor            A : \*\*  
 Factor            B : N.S.  
 Interacción    AB: N.S.

Tabla 5. Prueba de Tukey para el parámetro Textura (% Arcilla).

Planta	Nivel de Trituración	Arcilla %	Significación Estadístico*
Testigo	Fino	5.00	a
Testigo	Grueso	5.00	a
Eucalipto	Fino	4.50	ab
Jitomate	Grueso	4.50	ab
Eucalipto	Grueso	4.33	b
Pasto Rhodes	Fino	4.00	b
Pirul	Grueso	3.17	c
Pirul	Fino	3.17	c
Jitomate	Fino	3.00	cd
Soya	Grueso	2.83	cde
Pasto Rhodes	Grueso	2.83	cde
Casuarina	Fino	2.83	cde
Cebada	Fino	2.83	cde
Soya	Fino	2.67	cde
Trigo	Fino	2.50	de
Veza	Fino	2.50	de
Veza	Grueso	2.50	de
Casuarina	Grueso	2.50	de
Girasol	Grueso	2.33	ef
Trigo	Grueso	2.33	ef
Sorgo	Fino	2.33	ef
Girasol	Fino	1.83	f
Lenteja	Grueso	1.83	f
Cebada	Grueso	1.83	f
Lenteja	Fino	1.17	g
Sorgo	Grueso	1.00	g

ANDEVA            Factor            A: \*\*  
                          Factor            B: N.S.  
                          Interacción    AB: N.S.

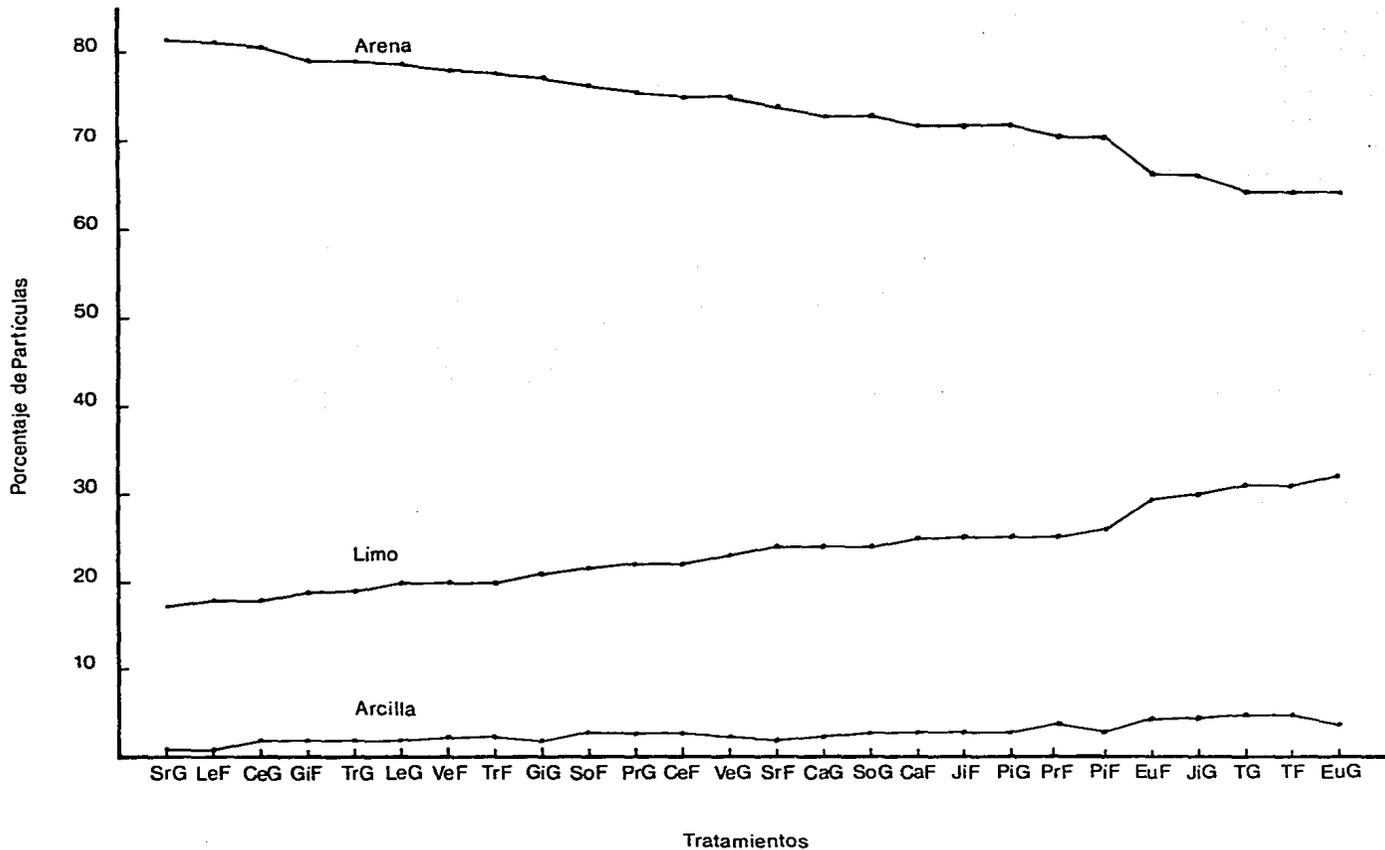


FIGURA 20 Porcentajes granulométricos en los tratamientos estudiados

Tabla 6. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (&lt;0.25 mm)

Planta	Nivel de Trituración	%Agregación	Significación Estadístico
Testigo	Fino <sup>1</sup>	33.77	a
Girasol	Fino	19.37	b
Sorgo	Fino	14.53	c
Trigo	Fino	12.17	d
Veza	Fino	12.17	d
Cebada	Fino	11.20	de
Pirul	Fino	11.17	de
Lenteja	Fino	10.60	de
Eucalipto	Fino	10.03	ef
Jitomate	Fino	8.63	fg
Casuarino	Fino	7.07	gh
Soya	Fino	6.93	gh
Girasol	Grueso	6.40	hi
Pasto Rhodes	Fino	5.73	hij
Eucalipto	Grueso	4.93	ijk
Pirul	Grueso	4.43	jkl
Lenteja	Grueso	3.97	klm
Casuarina	Grueso	3.97	klm
Veza	Grueso	3.70	klm
Soya	Grueso	3.33	klmn
Trigo	Grueso	3.00	lmn
Jitomate	Grueso	2.97	lmn
Cebada	Grueso	2.47	mn
Pasto Rhodes	Grueso	2.37	mn
Sorgo	Grueso	1.87	n
Testigo	Grueso <sup>1</sup>	0.00	o

ANDEVA      Factor      A: \*\*  
                  Factor      B: \*\*  
                  Interacción AB: \*\*

<sup>1</sup> Los fragmentos resultantes de la trituración fina y gruesa del tepetate testigo para efectos comparativos, se consideran como agregados.

En grueso, todos los tratamientos tuvieron valores superiores al testigo. Las especies que mayor porcentaje de agregación tuvieron fueron girasol, eucalipto y pirúl.

En la Tabla 7, se observa el porcentaje de agregación de 0.25 a 0.5 mm. Al igual que en el caso anterior, todos los tratamientos tuvieron porcentajes mayores que el testigo grueso, pero menores que el fino. Lo anterior indica que todas las especies en fino disgregaron y el material constituyó agregados de mayor tamaño. Las especies que menor porcentaje de agregación tuvieron fueron el pasto Rhodes y las especies arbóreas. En el nivel grueso, fueron también las especies arbóreas las que más agregaron.

La Tabla 8, muestra los porcentajes de agregación de 0.5 a 1 mm. Los resultados son iguales al anterior, todos los tratamientos tuvieron valores inferiores al testigo fino, pero superiores al grueso. Las especies que menor porcentaje de agregación tuvieron en fino fueron las arbóreas, lo que a su vez indica que fueron las que más disgregaron y posteriormente ese material constituyó agregados de mayor tamaño.

En el caso de los tratamientos en grueso, fueron también las especies arbóreas las que tuvieron los porcentajes más altos de agregación.

En el nivel de agregación de 1 a 2 mm, Tabla 9, se puede observar el mismo comportamiento del nivel de agregación anterior, una agregación en los tratamientos en grueso y baja agregación en los tratamientos en fino. Las especies arbóreas en fino, tuvieron los valores más bajos de agregación y en grueso los más altos junto con la lenteja y la veza.

En el caso de los agregados de 2 a 3 mm, Tabla 10, se puede observar que en todos los tratamientos hubo agregación. El incremento fué significativo en todos los casos y no hubo disgregación.

Las especies que más agregaron en grueso fueron trigo, sorgo, veza y pasto Rhodes y en fino fué el pasto, cuyo valor fué, incluso estadísticamente equivalente al del testigo grueso.

Es notorio que para este nivel de agregación todos los tratamientos superaron a los testigos. Es muy probable que este intervalo de agregación sea una de las primeras etapas en la formación de macroagregados.

En la Tabla 11 se muestran los porcentajes de agregación de 3 a 5 mm. Al igual que en el caso anterior, no hubo disgregación y los valores fueron superiores a los testigos. La mayor agregación en grueso se obtuvo con sorgo, cebada, trigo y pasto Rhodes. En fino los porcentajes

Tabla 7. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación  
(0.25-0.5 mm)

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación estadística*
Testigo	Fino	11.80	a
Girasol	Fino	10.17	b
Sorgo	Fino	9.30	b
Lenteja	Fino	7.20	c
Trigo	Fino	7.30	cd
Veza	Fino	6.40	cde
Cebada	Fino	6.23	de
Jitomate	Fino	5.60	ef
Soya	Fino	5.30	f
Pirul	Fino	5.07	f
Eucalipto	Fino	4.70	fg
Casuarina	Fino	4.00	gh
Pasto de Rhodes	Fino	3.57	hi
Pirul	Grueso	2.97	ij
Casuarina	Grueso	2.70	ijk
Eucalipto	Grueso	2.60	jkl
Girasol	Grueso	2.30	jkl
Lenteja	Grueso	2.30	jkl
Veza	Grueso	2.07	jklm
Cebada	Grueso	1.93	klm
Soya	Grueso	1.77	lmn
Jitomate	Grueso	1.37	mn
Pasto de Rhodes	Grueso	1.27	mn
Trigo	Grueso	1.00	n
Sorgo	Grueso	0.97	n
Testigo	Grueso	0.00	o

ANDEVA      Factor            A: \*\*  
                  Factor            B: \*\*  
                  Interacción    AB: \*\*

Tabla 8. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (0.5-1 mm)

Planta	Nivel de trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Lenteja	Fino	31.53	a
Girasol	Fino	27.80	b
Testigo	Fino	24.97	bc
Sorgo	Fino	24.73	cd
Jitomate	Fino	21.90	de
Cebada	Fino	21.47	ef
Trigo	Fino	20.17	efg
Soya	Fino	20.13	efg
Pasto Rhodes	Fino	18.80	fg
Veza	Fino	17.30	g
Eucalipto	Fino	14.20	h
Pirul	Fino	14.07	h
Casuarina	Fino	10.70	i
Pirul	Grueso	9.87	ij
Casuarina	Grueso	9.33	ijk
Eucalipto	Grueso	8.70	ijkl
Lenteja	Grueso	8.57	ijkl
Veza	Grueso	7.23	jklm
Jitomate	Grueso	6.70	klmn
Soya	Grueso	6.00	lmno
Girasol	Grueso	5.33	mno
Cebada	Grueso	5.27	mno
Pasto Rhodes	Grueso	4.17	no
Sorgo	Grueso	3.67	o
Trigo	Grueso	3.17	o
Testigo	Grueso	0.00	p

ANDEVA            Factor            A: \*  
 Factor            B: \*\*  
 Interacción      AB: \*\*

Tabla 9. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (1-2 mm)

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Testigo	Fino	29.27	a
Pasto de Rhodes	Fino	26.20	b
Jitomate	Fino	24.97	bc
Lenteja	Fino	24.57	bcd
Soya	Fino	23.30	cde
Sorgo	Fino	22.63	def
Girasol	Fino	22.33	ef
Veza	Fino	21.73	ef
Trigo	Fino	20.83	f
Cebada	Fino	17.77	g
Eucalipto	Fino	17.40	gh
Pirul	Fino	15.63	h
Casuarina	Fino	13.57	i
Lenteja	Grueso	12.73	ij
Casuarina	Grueso	11.97	ijk
Veza	Grueso	11.53	jkl
Pirul	Grueso	11.53	jkl
Eucalipto	Grueso	11.50	jkl
Jitomate	Grueso	10.63	klm
Soya	Grueso	9.83	lmn
Trigo	Grueso	8.87	mno
Sorgo	Grueso	8.50	no
Pasto Rhodes	Grueso	7.63	op
Girasol	Grueso	7.37	op
Cebada	Grueso	6.43	p
Testigo	Grueso	0.00	q

ANDEVA            Factor            A:\*  
                   Factor            B:\*\*  
                   Interacción    AB:\*\*



Tabla 11. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (3-5 mm).

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Sorgo	Grueso	18.30	a
Cebada	Grueso	17.30	ab
Trigo	Grueso	17.20	ab
Pasto Rhodes	Grueso	17.07	ab
Veza	Grueso	16.70	b
Soya	Grueso	16.20	bc
Lenteja	Grueso	14.93	cd
Girasol	Grueso	14.70	d
Casuarina	Grueso	13.67	de
Eucalipto	Grueso	12.90	e
Jitomate	Grueso	12.47	e
Pirúl	Grueso	12.43	e
Testigo	Grueso	10.47	f
Pasto Rhodes	Fino	4.50	g
Jitomate	Fino	3.67	gh
Cebada	Fino	3.60	ghi
Veza	Fino	3.57	ghi
Soya	Fino	3.53	ghi
Eucalipto	Fino	3.20	ghij
Sorgo	Fino	2.47	hijk
Trigo	Fino	2.43	hijk
Casuarina	Fino	2.23	hijk
Lenteja	Fino	2.17	ijk
Pirúl	Fino	1.93	jk
Girasol	Fino	1.60	k
Testigo	Fino	0.00	l

ANDEVA:	Factor	A: **
	Factor	B: **
	Interacción	AB: N.S.

más altos se tuvieron con pasto Rhodes, jitomate, cebada, veza, soya y eucalipto, que fueron estadísticamente equivalentes.

A semejanza del caso anterior, este intervalo de agregación podría ser también una de las primeras etapas en dicho proceso.

La Tabla 12, muestra los porcentajes de agregados de 5 a 7 mm. Todos los tratamientos en fino, excepto el pasto Rhodes, el trigo y la veza, tuvieron porcentajes de agregación estadísticamente equivalentes al testigo. La veza fué la que presentó el mayor porcentaje de agregación (6.67), incluso superior al del testigo grueso.

En los tratamientos en grueso también se presentó una agregación, principalmente con soya. Únicamente hubo disgregación con las especies arbóreas y el jitomate, cuyo porcentaje es inferior al del testigo.

Los porcentajes de agregación de 7 a 10 mm se muestran en la Tabla 13. En todos los tratamientos en fino el porcentaje se incremento significativamente con respecto al testigo. El valor más alto de agregación se presentó con el girasol.

En los tratamientos en grueso, todos los valores de agregación fueron menores al testigo, es decir, hubo una disgregación. Las especies que más disgregaron, las que tuvieron los porcentajes de agregación más bajos, fueron las especies arbóreas.

En cuanto al porcentaje de agregación de 10 a 15 mm se observó que todos los tratamientos tuvieron valores significativamente menores al del testigo grueso. Comparados con el testigo fino, excepto el trigo, el girasol y la soya en fino, que fueron estadísticamente equivalentes, los tratamientos restantes tuvieron valores de agregación más altos (Tabla 14).

En fino, las especies que más agregaron fueron casuarina, pasto Rhodes, jitomate y cebada. En grueso, las especies con menores porcentajes de agregación fueron veza, pasto Rhodes, trigo, sorgo, casuarina y soya.

Los porcentajes de agregación de 15 a 20 mm se muestran en la Tabla 15. Todos los tratamientos en fino, excepto el girasol, tuvieron un incremento significativo en el porcentaje de agregación con respecto al testigo. La soya tuvo el valor más alto (9.6), incluso, fué estadísticamente equivalente al testigo grueso.

Tabla 12. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (5-7 mm).

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Veza	Fino	6.67	a
Soya	Grueso	5.33	b
Sorgo	Grueso	4.70	bc
Pasto Rhodes	Grueso	4.70	bc
Girasol	Grueso	4.33	bc
Cebada	Grueso	4.10	bcd
Lenteja	Grueso	3.90	cde
Veza	Grueso	3.80	cde
Trigo	Grueso	3.53	cde
Testigo	Grueso	2.83	def
Casuarina	Grueso	2.67	efg
Pirúl	Grueso	2.20	fgh
Eucalipto	Grueso	2.07	fgh
Jitomate	Grueso	2.07	fgh
Pasto Rhodes	Fino	1.80	fghi
Trigo	Fino	1.50	ghij
Sorgo	Fino	1.10	hijk
Cebada	Fino	1.07	hijk
Soya	Fino	1.03	hijk
Girasol	Fino	0.70	ijk
Pirúl	Fino	0.47	jk
Lenteja	Fino	0.47	jk
Eucalipto	Fino	0.47	jk
Casuarina	Fino	0.40	jk
Jitomate	Fino	0.30	jk
Testigo	Fino	0.00	k

ANDEVA

Factor	A:	N.S.
Factor	B:	**
Interacción	AB:	N.S.

Tabla 13. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (7-10 mm).

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Testigo	Grueso	42.90	a
Girasol	Grueso	32.83	b
Soya	Grueso	26.07	c
Trigo	Grueso	25.03	cd
Cebada	Grueso	23.70	cde
Pasto Rhodes	Grueso	23.67	cde
Sorgo	Grueso	22.57	def
Veza	Grueso	21.73	ef
Lenteja	Grueso	20.10	fg
Jitomate	Grueso	18.37	gh
Pirúl	Grueso	16.53	hi
Eucalipto	Grueso	15.63	hi
Casuarina	Grueso	15.13	hi
Girasol	Fino	14.43	i
Soya	Fino	9.43	j
Pasto Rhodes	Fino	7.50	jk
Sorgo	Fino	6.27	jkl
Jitomate	Fino	6.20	jkl
Veza	Fino	6.13	kl
Trigo	Fino	5.93	kl
Cebada	Fino	5.87	kl
Eucalipto	Fino	4.73	kl
Casuarina	Fino	4.43	kl
Lenteja	Fino	4.40	kl
Pirúl	Fino	4.13	l
Testigo	Fino	0.00	m

ANDEVA	Factor	A: **
	Factor	B: **
	Interacción	AB: **

Tabla 14. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (10-15).

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Testigo	Grueso	13.23	a
Cebada	Grueso	7.03	b
Jitomate	Grueso	6.80	b
Eucalipto	Grueso	6.73	b
Lenteja	Grueso	6.23	b
Girasol	Grueso	6.03	b
Pirúl	Grueso	6.00	b
Soya	Grueso	4.57	c
Casuarina	Fino	4.40	c
Casuarina	Grueso	4.37	cd
Sorgo	Grueso	4.07	cd
Trigo	Grueso	4.00	cd
Pasto Rhodes	Fino	3.53	cde
Jitomate	Fino	3.47	cde
Cebada	Fino	3.27	cde
Veza	Grueso	3.23	cde
Eucalipto	Fino	3.23	cde
Pirúl	Fino	3.20	cdef
Pasto Rhodes	Grueso	3.97	defg
Sorgo	Fino	2.17	efg
Veza	Fino	1.80	fgh
Lenteja	Fino	1.73	gh
Soya	Fino	0.63	hi
Girasol	Fino	0.00	i
Trigo	Fino	0.00	i
Testigo	Fino	0.00	i

ANDEVA

Factor

A: \*

Factor

B: \*\*

Interacción

AB: \*\*

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Tabla 15. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación (15-20 mm)

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Testigo	Grueso	10.13	a
Soya	Fino	9.60	a
Casuarina	Fino	7.77	b
Cebada	Grueso	6.77	bc
Pirúl	Grueso	6.17	cd
Pasto Rhodes	Grueso	6.07	cde
Jitomate	Grueso	5.87	cde
Trigo	Fino	5.87	cde
Trigo	Grueso	5.67	cde
Pirúl	Fino	5.60	cde
Eucalipto	Grueso	5.07	def
Lenteja	Grueso	5.07	def
Jitomate	Fino	4.87	def
Veza	Grueso	4.60	efg
Cebada	Fino	4.00	fgh
Veza	Fino	3.93	fghi
Casuarina	Grueso	3.73	fghij
Pasto Rhodes	Fino	3.67	fghij
Sorgo	Grueso	3.27	ghijk
Lenteja	Fino	2.93	hijk
Eucalipto	Fino	2.43	ijk
Sorgo	Fino	2.40	ijk
Girasol	Grueso	2.33	jk
Soya	Grueso	1.97	k
Girasol	Fino	0.00	l
Testigo	Fino	0.00	l

ANDEVA	Factor	A: *
	Factor	B: N.S.
	Interacción	AB: **

En grueso, todos los tratamientos tuvieron porcentajes de agregación menores al del testigo, lo que implica que hubo una disgregación. Las especies que más disgregaron fueron soya, girasol y sorgo.

La Tabla 16, presenta los valores de agregación mayores de 20 mm. A excepción del girasol en fino, todos los tratamientos incrementan su porcentaje de agregados de dicho tamaño con respecto al testigo fino. En fino, las especies arbóreas alcanzan los porcentajes de agregación más altos.

En grueso, las especies que agregaron fueron pirúl, eucalipto, casuarina y jitomate. Las que tuvieron los menores valores de agregación, es decir, que disgregaron fueron trigo, soya, lenteja, girasol y veza. Estas especies tuvieron valores menores al del testigo grueso y estadísticamente equivalentes al testigo fino.

Es notorio, que en el nivel de trituración fino fué donde se produjo mayor porcentaje de agregados mayores de 20 mm.

Un suelo con buena estructura es aquel que está formado por agregados estables que permiten una buena porosidad. Cuando el suelo es muy compacto, se impide el movimiento del agua, el intercambio gaseoso, la germinación, el paso del agua al subsuelo, el crecimiento radical y se favorece la erosión. En los tepetates, las partículas están cementadas, de manera que presentan todos los problemas descritos (Lal *et al.*, 1979; Flores *et al.*, 1992).

En el fenómeno de agregación en el tepetate influyen principalmente tres factores: (1) la sílice amorfa, (2) el aporte de materia orgánica por el cultivo y (3) los efectos físicos y químicos de la raíz sobre el suelo.

En los suelos con alto contenido de sílice amorfa, el caso de los tepetates, la cementación juega un papel muy importante. Las partículas del suelo, arenas, limos y arcillas, pueden formar agregados al unirse por la acción cementante de la sílice. Este fenómeno, se presenta generalmente a nivel de microagregados (menores de 0.25 mm), es decir, las partículas se cementan y pasan a formar parte de un nivel de partículas de diámetro superior. Sin embargo, estos microagregados pueden también cementarse y formar macroagregados (mayores de 0.25 mm) que mejoran notablemente la calidad de un suelo, siempre y cuando no se vuelva a formar una capa (Flach *et al.*, 1969; Hillel, 1982; Williams *et al.*, 1985; Angers *et al.*, 1992).

En el presente estudio, la agregación por sílice amorfa se dió principalmente a nivel de microagregados. Lo anterior lo demuestran los resultados del análisis granulométrico, en los que

Tabla 16. Prueba de Tukey para el parámetro Agregación &gt; 20 mm).

Planta	Nivel de Trituración	% Agregación	Significación Estadística*
Casuarina	Fino	41.30	a
Pirúl	Fino	35.47	b
Eucalipto	Fino	31.87	b
Cebada	Fino	17.73	c
Trigo	Fino	16.83	cd
Jitomate	Grueso	15.17	cd
Veza	Fino	14.10	cde
Pasto Rhodes	Fino	13.93	cde
Casuarina	Grueso	13.77	cde
Soya	Fino	13.10	def
Jitomate	Fino	12.97	def
Lenteja	Fino	10.50	efg
Eucalipto	Grueso	10.47	efg
Pirúl	Grueso	10.30	efg
Testigo	Grueso	9.33	fg
Sorgo	Fino	8.40	gh
Pasto Rhodes	Grueso	7.07	ghi
Sorgo	Grueso	6.93	ghi
Cebada	Grueso	4.53	hij
Trigo	Grueso	3.20	ijk
soya	Grueso	2.67	jk
Lenteja	Grueso	2.63	jk
Girasol	Grueso	1.73	jk
Veza	Grueso	0.93	jk
Girasol	Fino	0.00	k
Testigo	Fino	0.00	k

ANDEVA:	Factor	A:	**
	Factor	B:	**
	Interacción	AB:	**

se vió un aumento significativo en el porcentaje de arena y una disminución de limo y arcilla en todos los tratamientos.

En los macroagregados, la agregación por sílice fué por muy bajos niveles de cementación. Algunos macroagregados se colocaron en agua y se colapsaron rápidamente, lo que implica que además de la sílice, influyeron otros fenómenos en la agregación a ese nivel.

Por otro lado, con el análisis de las tablas es posible observar, que en todos los tratamientos en fino el porcentaje de los agregados menores de 0.25 mm disminuyó notablemente con respecto al testigo, lo que implica que el material fué disgregado y posteriormente se cementó y constituyó agregados de mayor tamaño. Este fenómeno se presentó con los agregados de 0.25 a 2 mm de diámetro. En niveles de agregación superior, los porcentajes aumentaron y no hubo disgregación, por lo que en su formación debieron intervenir además de la cementación, los otros factores.

En el caso de los tratamientos en grueso, el porcentaje de agregación aumentó en los niveles de 0.25 a 5 mm. Después de dicho nivel, los porcentajes disminuyeron con respecto al testigo, es decir, hubo una disgregación, cuyo material resultante se cementó y constituyó nuevos agregados que son el incremento reportado de 0.25 a 5 mm de agregación. En los tratamientos en grueso también hubo agregación, sin disgregación. En ésta, la cementación fué baja como lo demostró la baja estabilidad de dichos agregados.

La materia orgánica influye también en la formación de agregados, incrementa la retención de agua, enriquece el suelo con nutrimentos necesarios para el desarrollo vegetal y mejora la estructura. En los suelos o capas formados a partir de cenizas volcánicas, la materia orgánica constituye complejos húmico-silicatados que forman agregados muy finos. Crea también enlaces con las partículas minerales que dan lugar a la formación de agregados húmico-arcillosos que pueden unirse entre sí en agregados más grandes, dando una estructura estable (Duchaufour, 1984; Bathke *et al.*, 1992; Tisdall, 1994).

La resistencia de los agregados depende en gran parte de que no haya una entrada de agua al agregado, sino que únicamente se desplace a través de los poros. La materia orgánica puede formar una capa impermeable alrededor de los agregados con lo que se disminuye el paso del agua y la turgencia, favoreciéndose así la estabilidad (Hillel, 1982; Bartoli *et al.*, 1988; Utomo *et al.*, 1992).

En la formación de agregados en este estudio también influyó la producción de materia orgánica por los diferentes cultivos, tal como se explica más adelante.

El factor más importante en la agregación y disgregación lo constituyeron las especies vegetales. El follaje incrementó la cantidad de materia orgánica en el suelo. Los efectos físicos y químicos de la raíz modificaron la estructura del suelo y la muerte de raicillas contribuyó también a aumentar los niveles de materia orgánica, por otro lado, la morfología y extensión del sistema radical determinaron la intensidad de modificación del suelo que conlleva la formación de agregados.

Desde el punto de vista físico, las raíces provocan una compresión y enrollamiento de las partículas del suelo, lo que da lugar a la formación de agregados. Al mismo tiempo, durante su penetración, los agregados ya existentes se separan dando una estructura porosa y ligera (Hillel, *op cit.*; Pritchett, 1986; Bathke *et al.* *op cit.*; Tisdall *op cit.*).

Las raíces promueven la formación de agregados principalmente por acción de los productos mucilaginosos que secretan, en su mayoría polisacáridos. Dichos compuestos se unen a la superficie de la arcilla formando complejos arcilla-polisacárido que incrementan la retención de agua y muchas veces forman una capa protectora e impermeable alrededor de los agregados. En otros casos, el muflago actúa como cementante uniendo a las partículas y agregados sobre los que actúa directamente (Reid y Goss, 1981; Hillel, *op cit.*; Bathke *et al.*, *op cit.*; Tisdall, *op cit.*).

Todos estos factores influyeron en la formación de agregados en el tepetate, lo cual se demuestra con los cambios sufridos en el material por efecto de las diferentes especies, las cuales presentan características diferentes a nivel radical, como se explica más adelante.

La disgregación pudo ser resultado de fenómenos mecánicos o químicos. Químicos, en los que intervienen fenómenos de hidrólisis y óxido-reducción y mecánicos, que son los que se destacan en el presente estudio, resultado de la fuerza ejercida por la raíz y de los ciclos de humedecimiento y secado.

Los ciclos de humedecimiento y secado provocan la contracción y expansión de la arcilla y por consiguiente la desintegración de las unidades del suelo. Por otro lado, los fluidos en la superficie desprenden partículas o grupos de ellas que también provocan la desintegración del material y la obstrucción de los poros.

Las raíces con su crecimiento son capaces de penetrar capas endurecidas fragmentándolas en unidades pequeñas susceptibles de ser modificadas y reorganizadas. Con la absorción de agua y nutrientes, la raíz provoca ciclos de hidratación y deshidratación del material, dando como resultado su desintegración (Black *et al.*, 1965; Hillel, *op. cit.*; Utomo *et al.*, *op. cit.*; Tisdall, *op. cit.*).

En los fenómenos mencionados participan fuerzas involucradas con la entrada de agua a los agregados, fuerzas abrasivas, por el arrastre de partículas y la fuerza de la raíz durante su crecimiento. En la disgregación del tepetate, probablemente la fuerza que dominó fué la radical, lo cual puede suponerse porque cada especie provocó diferentes niveles de disgregación en el mismo material, como lo muestran las tablas.

Todo lo expuesto sobre agregación y disgregación, coincide con los resultados obtenidos, en los que los valores más altos de agregación se obtuvieron con los tratamientos en duripán fino. De igual manera, en todos los tratamientos en grueso hubo una disgregación mucho mayor que la agregación. Por lo tanto, se puede considerar la disgregación del tepetate como un paso anterior a la formación de agregados.

#### **B. Análisis comparativo sobre la agregación entre las especies estudiadas.**

##### **a) Casuarina, pirúl, eucalipto.**

El comportamiento general de agregación de las tres especies arbóreas y el testigo en fino, se muestran en la Figura 21.

Con la casuarina hubo un notable incremento en el porcentaje de agregación con respecto al testigo. A partir de los agregados de 2 mm el porcentaje de agregación se incrementó. En el nivel de 5 a 7 mm no hubo diferencia con el testigo y en el siguiente nivel nuevamente hubo un incremento que alcanzó el valor máximo en los agregados mayores de 20 mm (41.3%). En los niveles de agregación menores de 2 mm, se observó una clara disminución en los porcentajes de agregación con respecto al testigo, principalmente en los agregados menores de 0.25 mm.

El comportamiento general de la casuarina muestra que hubo una disgregación de los agregados menores de 2 mm y el material resultante constituyó nuevos agregados que incrementaron el porcentaje en los niveles superiores a 2 mm.

El pirúl y el eucalipto en fino presentaron un comportamiento similar al descrito para la casuarina, en el que los agregados menores de 2 mm disminuyeron su porcentaje con respecto al testigo, pero aumentó el porcentaje a partir de los niveles mayores a dicho valor. No hubo diferencia con respecto al testigo en el porcentaje de agregación de 5 a 7 mm y al igual que la casuarina, el mayor porcentaje se presentó en los agregados mayores de 20 mm. La disminución en el porcentaje de agregados de 0.25 a 0.5 mm fué casi igual para las tres especies.

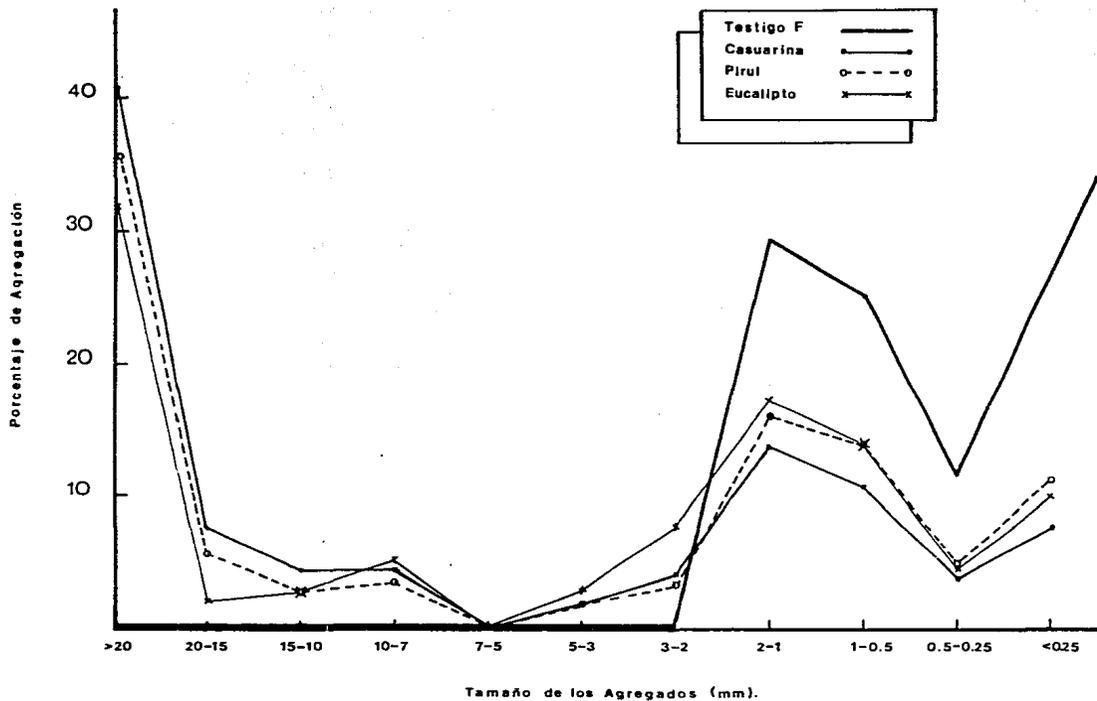


FIGURA 21 Efecto de las especies arbóreas en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituración fino.

Aún cuando las tres especies presentaron un comportamiento similar, cabe destacar que la casuarina fué la que más agregó y disgregó. El eucalipto fué la especie que menor porcentaje de agregados mayores de 10 mm tuvo, pero la que más agregó de 0.5 a 10 mm. El pirúl ocupó un sitio intermedio entre las otras dos especies.

El hecho de que la especie con mayores porcentajes de agregación haya sido también la que más disgregó, apoya la idea de que todo el material disgregado nuevamente constituyó agregados de mayor tamaño.

El efecto de las especies arbóreas en el nivel de trituración grueso se observa en la Figura 22. Con las tres especies hubo un incremento en el porcentaje de agregados de 0.25 a 5 mm con respecto al testigo grueso. En el nivel de 5 a 7 mm no hubo cambio; el porcentaje de agregados de 7 a 20 mm disminuyó notablemente y hubo un incremento en los agregados mayores de 20 mm. Lo anterior indica que hubo una disgregación del material de 7 a 20 mm y que como resultado hubo formación de agregados menores de 5 mm.

La mayor agregación se presentó en el nivel de 2 a 3 mm y la mayor disgregación en el intervalo de 7 a 10 mm. Al comparar el efecto de las tres especies entre sí, se vió que el comportamiento fué el mismo, pero la especie que más disgregó fué la casuarina, aunque la diferencia no sea muy grande. El efecto disgregante del eucalipto y el pirúl únicamente se desfasa en el nivel de 15 a 20 mm, donde se ve que el eucalipto fué el que disgregó un poco más. Los porcentajes de agregados de 0.25 a 7 mm fueron muy similares para todas las especies; en el nivel de 2 a 3 mm el que más agregó fué el eucalipto, en el de 3 a 5 mm, la casuarina y de 0.5 a 1 mm el pirúl, pero las diferencias fueron mínimas y no se consideran significativas.

Del comportamiento de los árboles en los dos niveles de trituración del tepetate se puede decir, que las tres tuvieron una alta capacidad tanto de disgregación como de agregación. En ambos casos, la tendencia es hacia una disgregación del material y su posterior agregación. En los dos niveles de trituración, sobre sale el hecho de que la variación en los porcentajes de agregación en el nivel de 0.25 a 0.5 mm es el mismo con las tres especies y que no hubo en ninguno de los dos casos, modificación en el porcentaje de agregados de 5 a 7 mm, con respecto a los dos testigos. Se puede decir, que estos últimos no sufren alteración, pero tampoco se forman durante el proceso de agregación.

El efecto de los árboles sobre el tepetate, en cuanto a capacidad de agregación y disgregación, explica la gran capacidad de estas especies para establecerse en medios adversos, misma que ha sido reportada por diferentes autores y con la que coinciden los resultados aquí obtenidos (Nimlos y Ortiz, 1987; Pedraza *et al.*, 1987; Peña, 1987; Sánchez, 1987; Llerena, 1991; Pimentel, 1991; Guerra y Garzón, 1991).

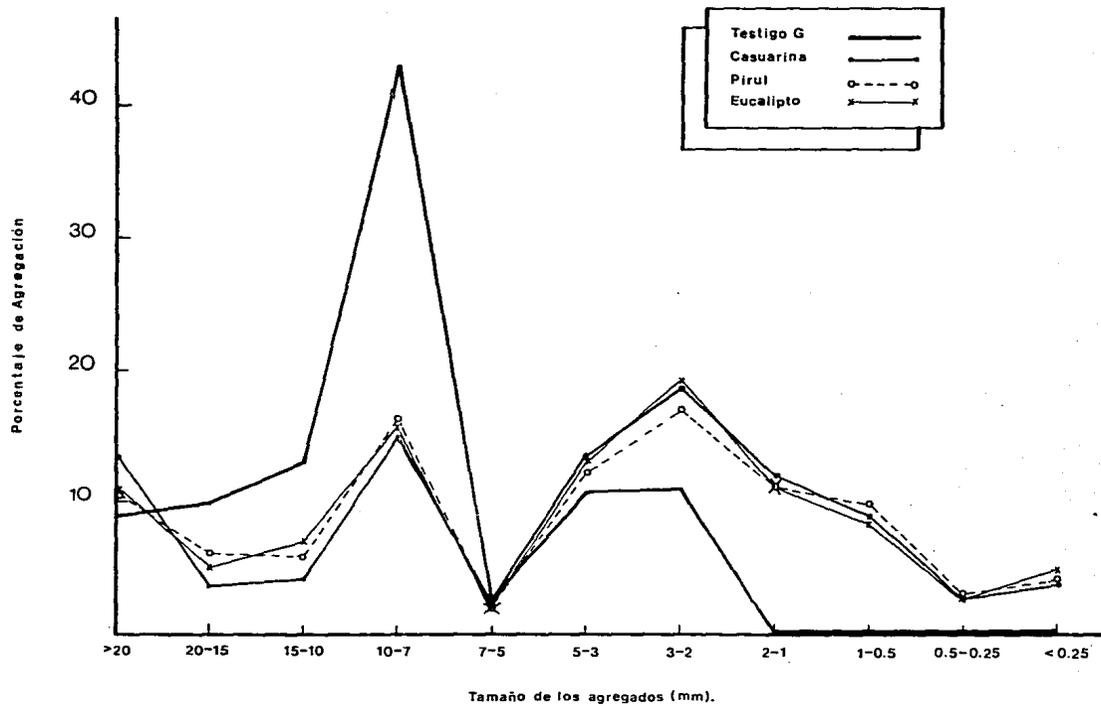


FIGURA 22 Efecto de las especies arbóreas en en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituración grueso.

Los resultados coinciden también con lo descrito por Pritchett (1986) y Peña (*op. cit.*), quienes mencionan que el sistema radical axonomorfo de las especies forestales puede penetrar inclusive en capas cementadas, modificando durante su desarrollo su forma y número de ramificaciones. Explican también, que cuando se presenta una capa endurecida, se forman numerosas raíces cerca de la superficie para cubrir las necesidades del árbol mientras que la raíz principal penetra lentamente en el material. Conforme la raíz principal penetra, abre canales en el suelo disgregando el material compactado en donde posteriormente pueden penetrar las raíces laterales hasta que se crea una estructura reticulada que abarca grandes extensiones.

De este modo, la fuerte penetración de las raíces provoca la disgregación del material cementado, la producción de mucilagos, el aporte de materia orgánica por la muerte continua de raicillas y el fenómeno de empaquetamiento causados también por el sistema radical que fomentan la nueva agregación del material en unidades más estables, con lo que se mejora notablemente la estructura.

b) Veza, pasto Rhodes, sorgo.

El efecto de las plantas herbáceas perennes, veza, pasto Rhodes y sorgo, en el porcentaje de agregación en el nivel de trituración fino, se muestra en la Figura 23. Los tres cultivos presentaron un efecto disgregante en los niveles menores de 2 mm, es decir, que sus porcentajes de agregación en esos niveles fueron menores al testigo. En los niveles de agregación mayores de 2 mm fué claro el incremento en el porcentaje de agregación con respecto al testigo.

La veza presentó el mayor porcentaje de agregados mayores de 20 mm, aunque casi no hubo diferencia con el valor del pasto Rhodes. Fué muy notable el incremento tan alto en el porcentaje de agregados de 5 a 7 mm que no se presentó con ninguno de los otros cultivos. La veza fué la que tuvo menor porcentaje de agregados de 0.5 a 2 mm, es decir, fué la que disgregó más a ese nivel.

El pasto Rhodes fué el que presentó los porcentajes más altos de agregados mayores de 2 mm, excepto en el nivel de 5 a 7 mm en el que, como ya se mencionó, fué la veza la que tuvo el porcentaje más alto. El pasto, tuvo valores de agregación muy inferiores al del testigo, lo que implica que en general fué la especie que más disgregó, especialmente en el nivel de unidades menores de 0.25 mm.

Por otra parte, el sorgo fué el cultivo que menos disgregó y por consiguiente el que menos agregó, tal como lo demuestran sus porcentajes de agregación con respecto a los otros dos cultivos.

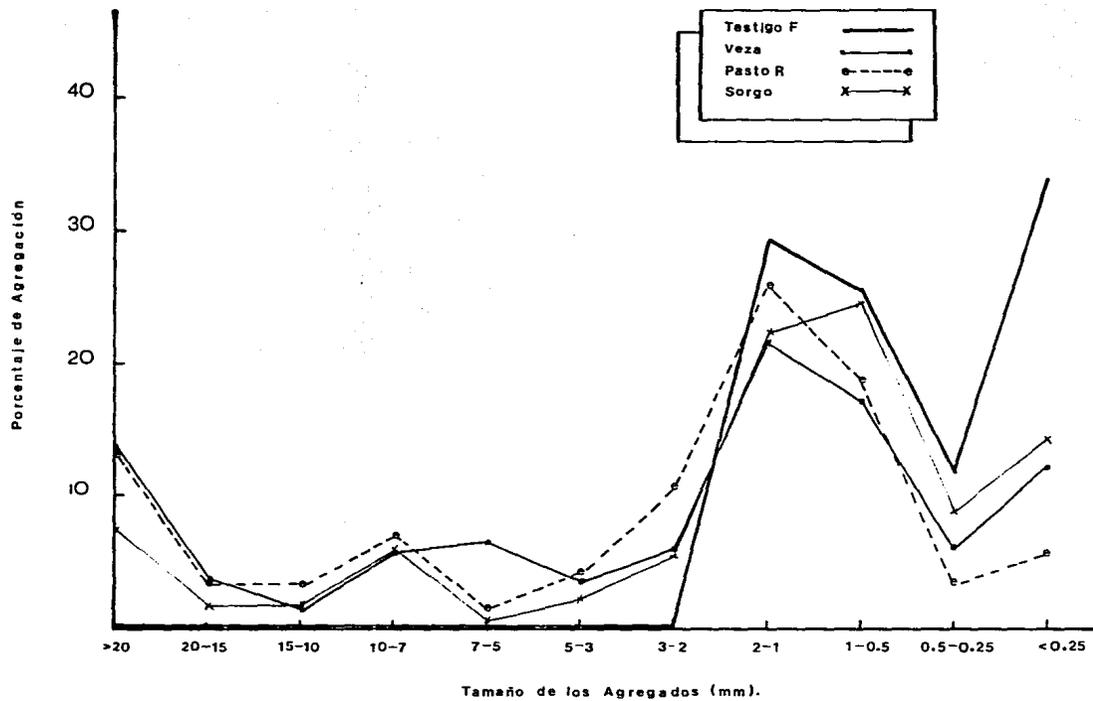


FIGURA 23 Efecto de las especies herbáceas perennes en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituración fino.

En general, los tres cultivos mostraron un comportamiento similar. En los agregados menores de 0.25 mm hubo mayor disgregación y el porcentaje mayor de agregación con respecto al testigo se presentó en los agregados mayores de 20 mm. Al igual que con las especies arbóreas, no hubo una variación significativa en el porcentaje de agregados de 5 a 7 mm, excepto con la veza.

El comportamiento de las herbáceas perennes en el nivel de trituración grueso, Figura 24, muestra que con los tres cultivos hubo una disminución en el porcentaje de agregados mayores de 7 mm con respecto al testigo y un incremento de los agregados menores de 5 mm. Lo anterior implica que hubo una disgregación en los niveles mayores de 7 mm y que ese material fué agregado nuevamente en unidades de menor tamaño.

La mayor disgregación se dió en el nivel de 7 a 10 mm y el mayor porcentaje de agregación de 2 a 3 mm, al igual que con las especies arbóreas. Aunque las tres especies tuvieron el mismo comportamiento, se puede observar que la veza fué la especie que más disgregó y en consecuencia, la que presentó los niveles de agregación más altos. El comportamiento del pasto y el sorgo fué muy similar, aunque de 2 a 7 mm el porcentaje de agregación del sorgo fué ligeramente mayor.

Es necesario señalar, que al igual que con las especies arbóreas, los agregados de 5 a 7 mm no fueron alterados ya que el incremento en el porcentaje de agregados de 0.25 a 0.5 mm fué equivalente con los tres cultivos.

Los resultados del efecto de las herbáceas perennes, leguminosas y gramíneas, tanto en fino como en grueso, mostraron una notable capacidad tanto de disgregación como de agregación. Tal característica, las convierte en especies adecuadas para modificar la estructura de un suelo arable o de una capa endurecida, tal como lo reportan: Hitchcock, 1950; Reid y Goss, 1981; Nimlos y Ortíz, *op. cit.*; Karimian y Razmi, 1990; Arias, 1991; Bathke *et al.*, *op. cit.*).

Las modificaciones causadas por los cultivos perennes han sido asociadas generalmente con la resistencia de su sistema radical a condiciones de sequía o exceso de humedad, a la raíz de tipo fascicular que abarca una extensa superficie y a la gran cantidad de materia orgánica que aportan al suelo, tanto por la contnua muerte de raicillas como por los numerosos restos de follaje. Las especies aquí estudiadas, pasto Rhodes, veza y sorgo, poseen un sistema radical fascicular y altamente ramificado, cuyos efectos mecánicos y gran cantidad de exudados pueden actuar sobre un área bastante amplia modificándola notablemente (Hitchcock, *op. cit.*; Rosas, 1987).

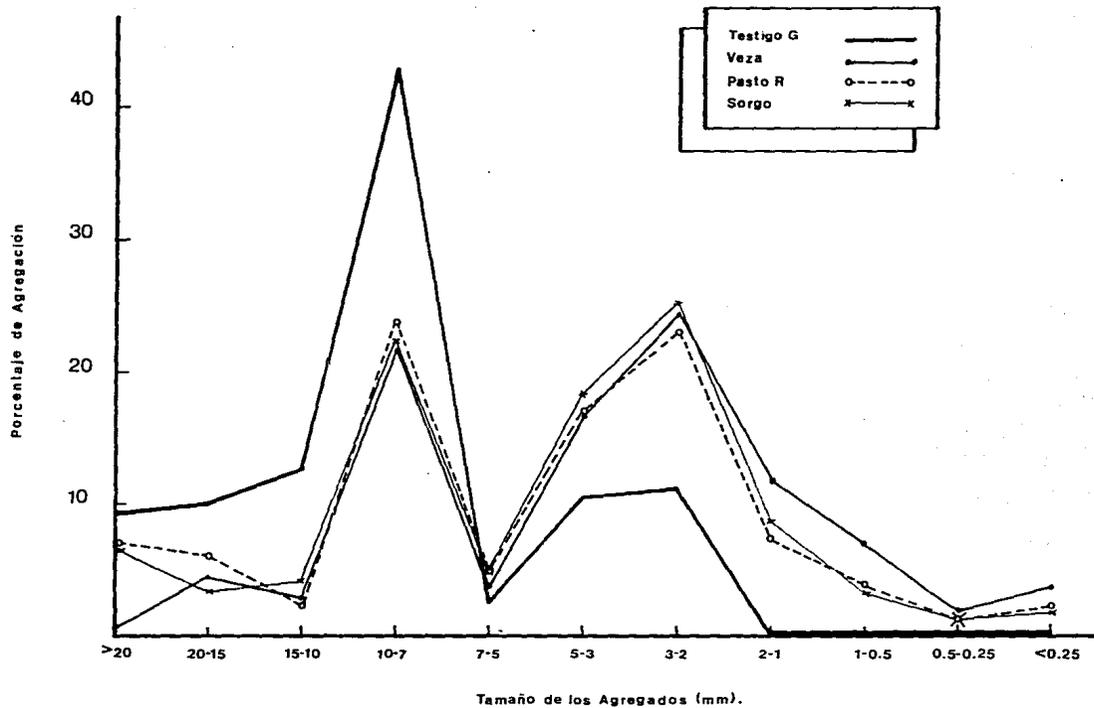


FIGURA 24 Efecto de las especies herbáceas perennes en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituración grueso.

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden también con los trabajos realizados por Karimian y Razmi (*op. cit.*) y Bathke y colaboradores (*op. cit.*), quienes señalan que las especies perennes modificaron las características de un suelo en períodos muy cortos de tiempo, dando excelentes resultados. Mencionan incluso, que resultaron mejores que las especies anuales, ya que por su larga permanencia en el suelo son capaces de perforar capas cementadas. No sólo por la fuerza y habilidad de penetración de sus raíces, sino porque el sistema radical es tan fino que puede penetrar en poros y fisuras muy pequeños para las raíces de otras plantas, pueden incluso, reocupar viejas fisuras.

Por otro lado, Reid y Goss (*op. cit.*), demostraron que después de cuatro semanas de cultivo con pastos perennes, aumentó notablemente la estabilidad de los agregados como resultado de la alta producción de polisacáridos de la raíz y el aporte elevado de materia orgánica, lo cual también explica la capacidad de agregación y disgregación de las especies perennes y apoya los resultados obtenidos.

c) Cebada, trigo, jitomate.

El efecto de las tres especies de ciclo corto, cebada, trigo y jitomate, en el porcentaje de agregación del nivel de trituration fino se muestra en la Figura 25.

En general, el comportamiento de los tres cultivos fué parecido, pero hubo algunas diferencias. Al igual que con las especies perennes, hubo disgregación en los niveles menores de 2 mm y agregación en los superiores a dicho valor. El porcentaje más alto de agregados mayores de 20 mm se logró con la cebada, sin embargo, en los demás niveles su porcentaje de agregación fué ligeramente menor al del jitomate. La mayor disgregación en el nivel de 1 a 2 mm se obtuvo con cebada, pero en los niveles restantes, la disgregación fué media comparada con la de las otras dos especies.

El trigo tuvo un valor medio de disgregación y presentó una tendencia a la formación de agregados mayores de 15 mm, por debajo de este nivel, los valores de agregación fueron los más bajos de las tres especies, incluso, en el nivel de 10 a 15 mm no hubo diferencias con respecto al testigo fino.

El jitomate fué la planta que más disgregó unidades menores de 0.25 mm, pero la que menos disgregación tuvo en los otros niveles. Por otro lado, fué en general, la que más agregó. El porcentaje más alto de agregación con jitomate se obtuvo en los agregados mayores de 20 mm, aunque su valor no fué tan alto como el obtenido con cebada y trigo. Únicamente en el nivel de 5 a 7 mm no produjo cambios con respecto al testigo.

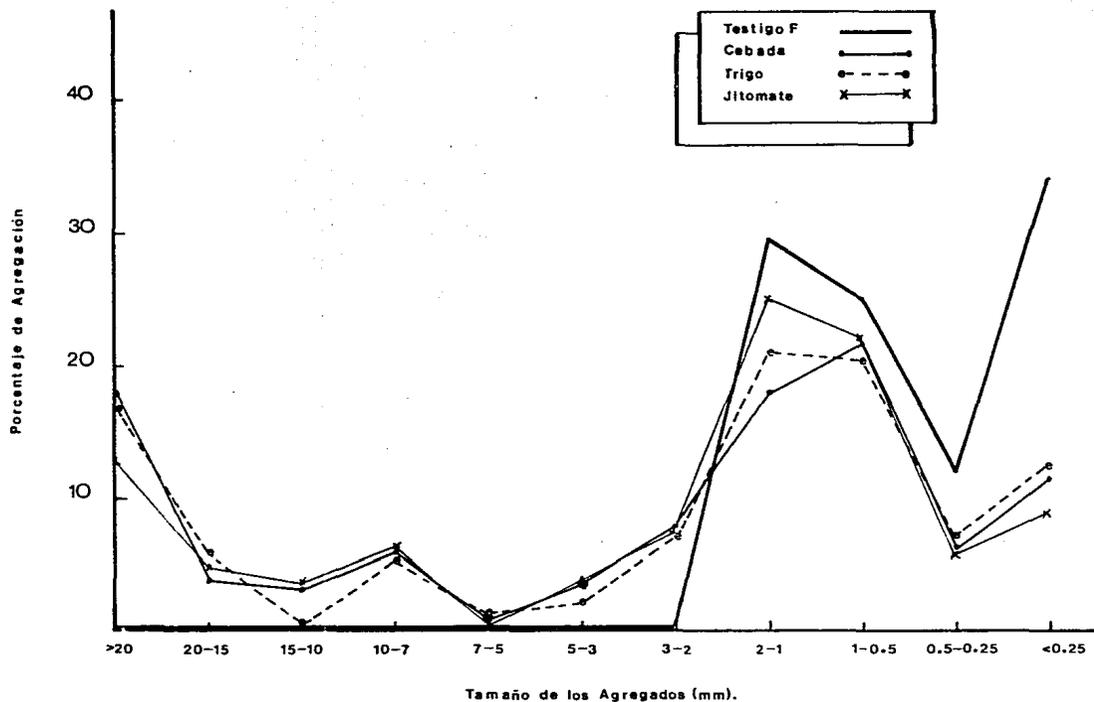


FIGURA 25 Efecto de las especies de ciclo corto, cebada, trigo y jitomate en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituración fino.

Comparando el efecto de las tres especies, sobresale el hecho de que al igual que con las especies perennes, herbáceas y arbóreas, la mayor disgregación se presentó en las unidades menores de 0.25 mm y no hubo alteración significativa en el porcentaje de los agregados de 5 a 7 mm. Coincide también el hecho de que los agregados de 0.25 a 0.5 mm fueron equivalentes con las tres especies.

En el nivel grueso, Figura 26, se observa que hubo disgregación en los niveles mayores de 7 mm y una notable agregación en los niveles inferiores a éste. Únicamente hubo un aumento en el porcentaje de agregados mayores de 20 mm con el jitomate. Se presentó una ligera disminución en los agregados de 5 a 7 mm con jitomate y cebada pero no fué significativa. El incremento en los agregados de 0.25 a 0.5 mm fué equivalente en los tres cultivos.

La cebada fué la especie que menos disgregó, no obstante, tuvo valores intermedios de agregación con respecto a las otras especies. El trigo fué el cultivo que mayor disgregación provocó en los niveles mayores de 10 mm y tuvo los porcentajes más altos de agregación en el nivel de 2 a 5 mm, pero en los niveles inferiores los porcentajes fueron menores que con las otras especies. La tendencia general del trigo fué hacia la disgregación del material mayor de 10 mm y a la formación de agregados de 2 a 5 mm.

El jitomate fué la única de las tres especies que formó agregados mayores de 20 mm. En el intervalo de 5 a 20 mm tuvo un efecto disgregante y agregó en todos los niveles inferiores a 5 mm. La mayor disgregación con jitomate fué en el nivel de 7 a 10 mm y los porcentajes más altos de agregación con esta planta se presentaron en los niveles menores de 2 mm. Todo lo anterior muestra que el jitomate tiene una alta capacidad de agregación, no sólo en material fino, sino también directamente en material grueso.

En general, los tres cultivos mostraron una capacidad alta de modificación del tepetate en los dos niveles de trituración del mismo, lo cual coincide con los resultados del trabajo realizado por González (1981), citado por Arias (1991), que indican que las gramíneas son plantas adecuadas para la recuperación de zonas con tepetate. Por otro lado, la cebada y el trigo han sido usados desde hace mucho tiempo para la recuperación de capas cementadas en Tlaxcala, en donde los siembran durante las primeras etapas de recuperación debido a la importante modificación que provocan en ellas (Zahonero *et al.*, 1991).

El jitomate no es un cultivo que se haya usado antes para modificar la estructura del suelo, únicamente Reid y Goss (*op. cit.*), en sus investigaciones encontraron que este cultivo no tuvo ningún efecto en la estabilización de agregados en un suelo agrícola. Sin embargo, los resultados del presente estudio indican que se trata de un cultivo que puede modificar significativamente las capas cementadas desintegrando el material y promoviendo la formación de agregados, mejor aún, que las gramíneas de ciclo corto estudiadas. Lo anterior se debe probablemente al sistema radical tan peculiar que posee el jitomate, el cual tiene la capacidad

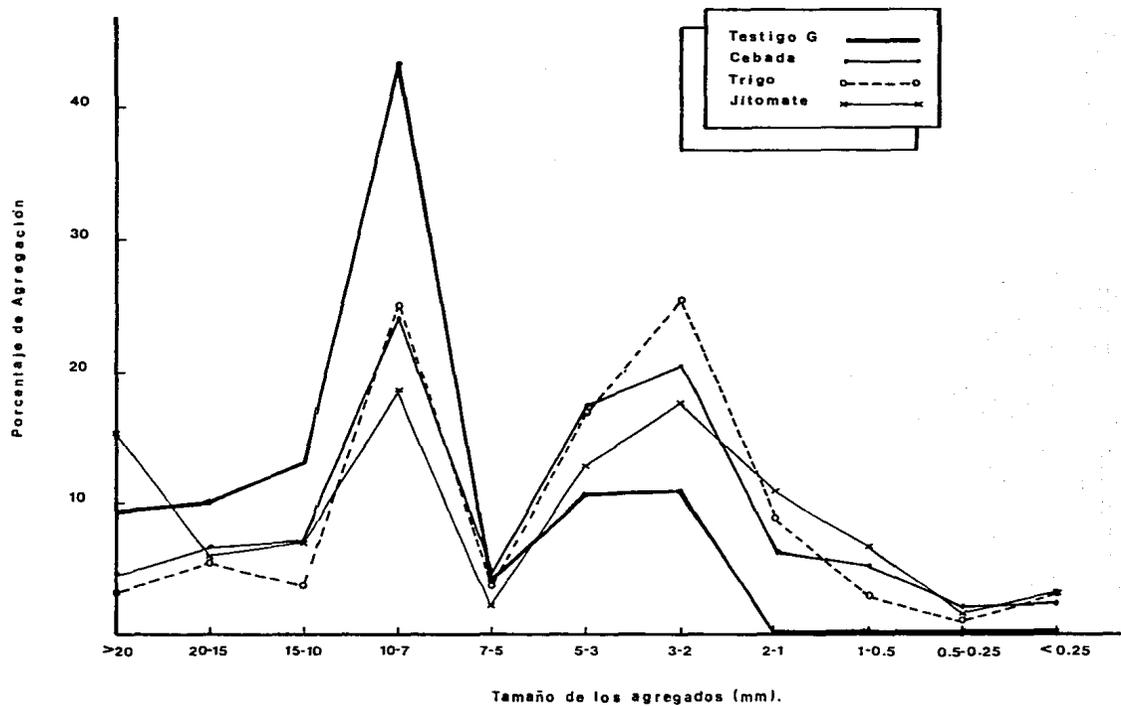


FIGURA 26 Efecto de las especies de ciclo corto, cebada, trigo y jitomate en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de triturración grueso.

de crecer aproximadamente 3 cm al día y simultáneamente produce raíces adventicias y ramificaciones que llegan a formar una masa densa. Se sabe además, que el sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad y el 75% se encuentra, primero, en los 45 cm superiores del suelo, pero puede seguir penetrando con rapidez (Rodríguez *et al.*, 1984).

Los resultados mostraron que con los tres cultivos hubo formación de agregados grandes en los dos niveles de trituración, lo cual puede ser resultado tanto del efecto del sistema radical de las tres plantas como de la producción de mucilagos que actuaron directamente sobre el tepetate.

d) Soya, lenteja, girasol.

El efecto de la soya, lenteja y girasol en el nivel de trituración fino se muestra en la Figura 27. Al igual que con todas las especies estudiadas, hubo una agregación muy alta con respecto al testigo en los niveles mayores de 2mm. Sin embargo, en este caso, la disgregación sólo se presentó en el nivel menor de 0.25 mm y de 1 a 2 mm con lenteja y girasol.

La soya fué el cultivo que más disgregó en todos los niveles menores de 2 mm y fué también la que presentó los incrementos más altos en el porcentaje de agregación en los niveles superiores a dicho valor, principalmente, formó agregados mayores de 20 mm. Únicamente en el nivel de 7 a 10 mm el porcentaje de agregación fué inferior al del girasol.

La lenteja presentó valores de agregación y disgregación medios con respecto a las otras dos plantas, pero a diferencia de la soya, aumentó notablemente el porcentaje de agregados de 0.5 a 1 mm, lo que no sucedió con ningún otro cultivo. El girasol fué la especie que menos disgregó y sólo aumentó su porcentaje de agregación en el nivel de 2 a 7 mm y ligeramente en el de 0.5 a 1 mm, con respecto al testigo fino. No formó agregados mayores de 7 mm.

Al igual que en los casos anteriores, no hubo formación significativa de agregados de 5 a 7 mm y la mayor disgregación fué en las unidades menores de 0.25mm. El comportamiento general de los cultivos fué similar, excepto el del girasol.

En el nivel de trituración grueso, Figura 28, los tres cultivos tuvieron un claro efecto disgregante de las unidades mayores de 7 mm y un aumento en los porcentajes de agregación en los niveles menores de 7 mm, con respecto al testigo. De igual manera, no hubo alteración significativa de los agregados de 5 a 7 mm y el porcentaje de agregados de 0.25 a 0.5 mm fué equivalente con los tres cultivos.

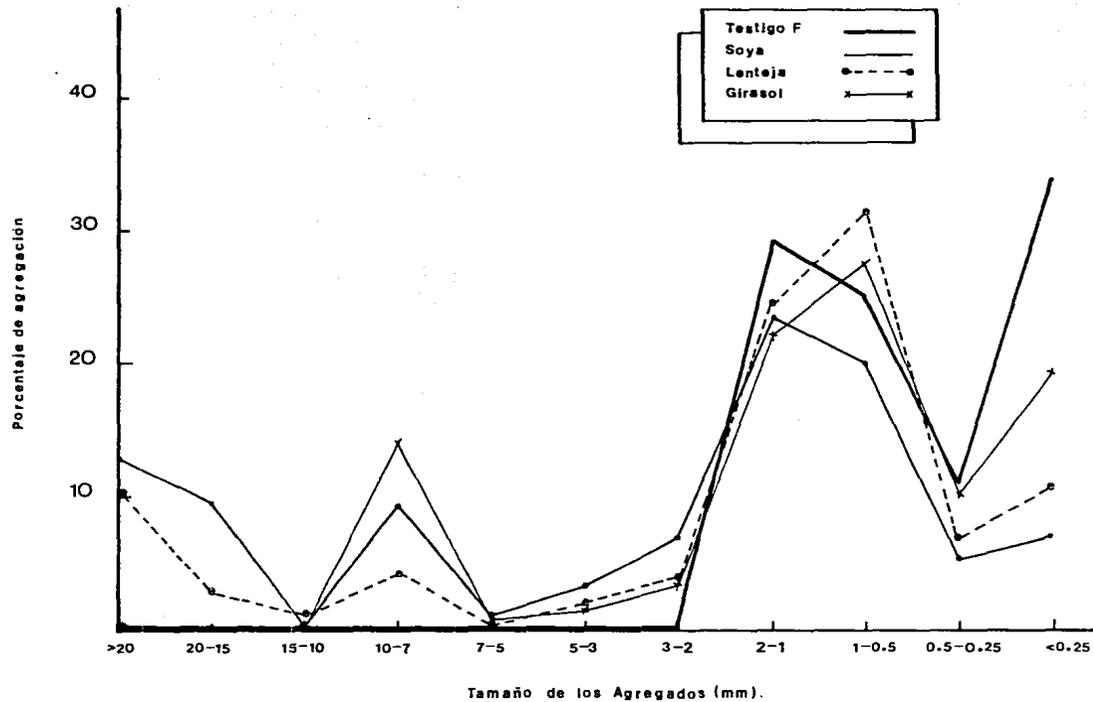


FIGURA 27 Efecto de las especies de ciclo corto, soya, lenteja y girasol, en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituration fino.

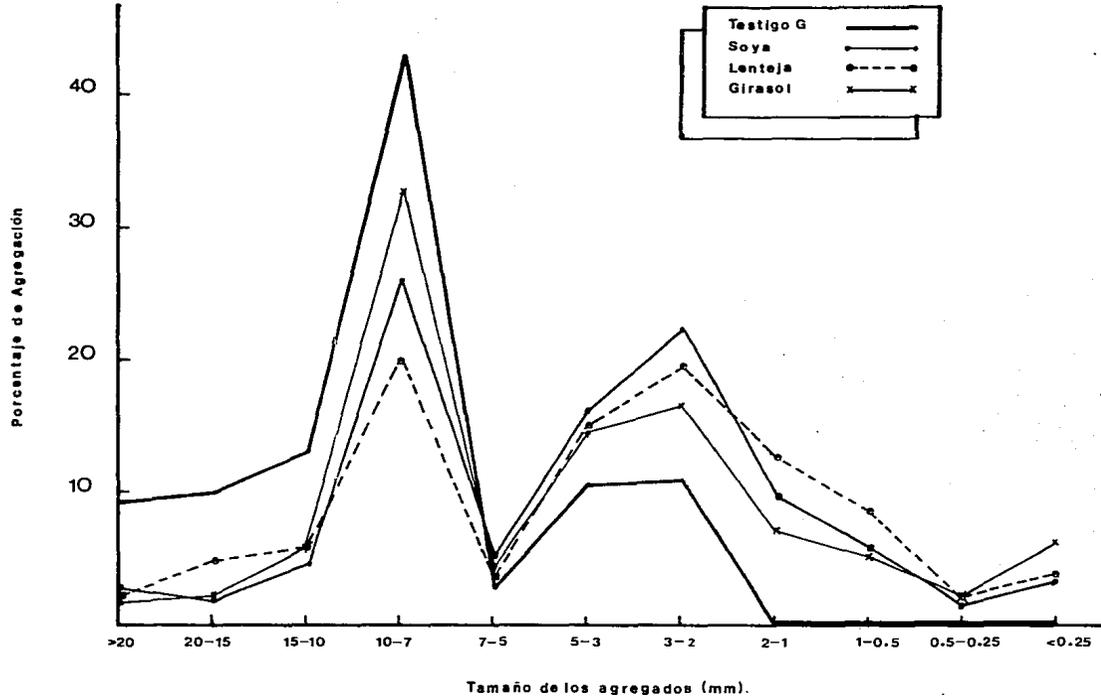


FIGURA 28 Efecto de las especies de ciclo corto, soya, lenteja y girasol, en el porcentaje de agregación y tamaño de los agregados en el nivel de trituration grueso.

La soya disgregó más en los niveles mayores de 10 mm y los porcentajes de agregación más altos se presentaron en el nivel de 2 a 5 mm. La lenteja tuvo el valor más alto de disgregación de 7 a 10 mm con respecto a las otras plantas. En agregación, su tendencia fué hacia la formación de agregados de 0.25 a 2 mm en donde obtuvo los porcentajes más altos. El girasol fué la planta que menos disgregó y en consecuencia la que menos agregó, al igual que en el nivel fino.

En general, el comportamiento de estos tres cultivos en los dos niveles de trituración fué similar al observado en los demás tratamientos. El efecto un tanto deficiente del girasol se explica más adelante.

Algunas leguminosas de ciclo corto han sido usadas para mejorar la estructura de suelos compactados (González, 1981 citado por Arias, 1991; Reid y Goss *op. cit.*; Zahonero *et al.*, *op. cit.*; Easterwood *et al.*, 1991; Ellsworth *et al.*, 1991), principalmente por la gran cantidad de sustancias mucilaginosas que producen y al aporte de algunos elementos, principalmente nitrógeno, resultado de su simbiosis con otros organismos que también contribuyen a la producción de polisacáridos.

Probablemente, la planta cuyo efecto se ha estudiado un poco más es la soya, debido a su muy reportada capacidad de crecer en condiciones edáficas adversas y a la rusticidad y agresividad de su sistema radical. Easterwood y colaboradores (*op. cit.*), reportan que la soya promovió la formación de arcilla en roca basáltica, lo cual apoya los resultados obtenidos en el presente estudio, en los que se pudo apreciar que fué uno de los cultivos que más disgregó. Por otro lado, Ellsworth y colaboradores (*op. cit.*), reportan que la soya formó agregados poco estables y que su capacidad de disgregación fué mayor que la de agregación, con lo cual no concuerdan del todo con los resultados aquí obtenidos ya que mostró porcentajes de agregación significativos con respecto a los testigos, mejores incluso que los de otros cultivos.

La lenteja no ha sido reportada como una planta usada para modificar la estructura de los suelos, sin embargo, los resultados obtenidos mostraron que su efecto sobre las características del tepetate fué significativo.

#### e) Análisis general de todos los cultivos.

Comparando el efecto de todos los cultivos estudiados, se puede decir que en el nivel de trituración fino todos disgregaron en los niveles menores de 2 mm y ese material fué nuevamente agregado en unidades de mayor tamaño. Como resultado de lo anterior hubo un incremento altamente significativo en el porcentaje de agregados mayores de 2 mm. El único nivel en el que no hubo formación significativa de agregados fué en el de 5 a 7 mm.

En todos los casos la mayor disgregación se presentó en los agregados menores de 0.25 mm y los agregados mayores de 20 mm tuvieron los porcentajes de agregación más altos.

Todos los cultivos en fino tuvieron un comportamiento general similar, únicamente el girasol y la lenteja agregaron en niveles menores de 2 mm. Las especies arbóreas fueron las que presentaron mayor capacidad de disgregación y de formación de agregados mayores de 20 mm, pero menor porcentaje de agregación en los otros niveles, comparados con los demás cultivos. La especie arbórea que dió mejores resultados fué la casuarina, aunque no fué muy grande la diferencia con respecto al eucalipto y el pirúl. Las herbáceas perennes tuvieron porcentajes más altos de agregados de 2 a 15 mm más altos que las especies arbóreas pero su capacidad de disgregación fué mucho menor. El pasto Rhodes fué la herbácea perenne que dió mejores resultados de agregación y disgregación, aunque al igual que en el caso anterior, no hubo una diferencia muy grande con los porcentajes de las otras dos plantas.

En el caso de los cultivos de ciclo corto, los mejores resultados se obtuvieron con cebada, soya y jitomate, que fueron los que tuvieron los porcentajes más altos de agregación y disgregación. El girasol tuvo un comportamiento diferente debido a que su crecimiento fué afectado por el fotoperíodo y se aceleró su desarrollo, de manera que tuvo que ser cosechado con anticipación y su sistema radical no actuó el mismo tiempo que el de los otros cultivos sobre el tepetate. Teniendo presente lo anterior, no es posible decir que este cultivo no sea adecuado para modificar la estructura de las capas cementadas, sino que es necesario investigar su comportamiento en condiciones adecuadas de fotoperíodo para su desarrollo.

No existen diferencias muy grandes entre el comportamiento de las perennes herbáceas y los cultivos de ciclo corto, el único grupo que se separa claramente es el de las arbóreas.

En el nivel grueso, al comparar el efecto de todos los cultivos se observó que en todos los casos hubo disgregación en los niveles mayores de 7 mm y que el resultado de tal fenómeno fué la formación de agregados menores de 7 mm. Las únicas especies que presentaron agregación en los niveles superiores fueron las arbóreas y el jitomate, cuyo porcentaje de agregados mayores de 20 mm fué superior al del testigo. En ningún caso hubo alteración significativa de los agregados de 5 a 7 mm y la formación de agregados de 0.25 a 0.5 mm fué casi igual con todos los cultivos, excepto con los árboles que tuvieron un porcentaje ligeramente mayor.

Al igual que en el nivel fino, las especies arbóreas fueron las que mayor disgregación causaron y con las que la formación de agregados menores de 7 mm fué más equilibrada en todos los niveles. Aunque los resultados fueron muy similares, la casuarina parece ser la especie que dió mejores resultados. Las especies perennes herbáceas disgregaron menos que las arbóreas, pero incrementaron más el porcentaje de agregados de 2 a 5 mm. La especie que

mejores resultados de agregación y disgregación dió, fué la veza, aún cuando el efecto de las otras especies fué muy parecido.

En los cultivos de ciclo corto las especies que más disgregaron fueron el jitomate, la lenteja y la cebada. Las que más agregaron en el nivel de 2 a 5 mm fueron el trigo, la soya y la cebada, y de 0.25 a 2 mm fueron lenteja, jitomate y soya. En este caso, es posible observar que hubo muchas variaciones en los porcentajes de cada nivel de agregación para cada cultivo, por lo que no es posible seleccionar uno sólo como el que más agregó o disgregó. Sin embargo, cabe señalar que el jitomate fué la única planta de ciclo corto que en grueso formó agregados tanto en los niveles menores, como en los niveles superiores a 7 mm.

No hubo diferencias significativas entre el comportamiento de las herbáceas perennes y los cultivos de ciclo corto. Tampoco las hubo entre gramíneas y leguminosas de ciclo corto. El comportamiento general fué similar.

De acuerdo con el comportamiento de todos los cultivos en ambos niveles de trituración, es muy probable que el nivel de agregación de 2 a 5 mm sea una de las primeras etapas en la formación de macroagregados, ya que ese nivel marcó el límite entre la disgregación y la formación de agregados; en ese nivel nunca hubo disgregación.

El hecho de que no se presentara una alteración ni formación significativa de agregados de 5 a 7 mm, podría indicar que se trata de un nivel de agregación muy estable, por lo que no puede ser alterado con facilidad ni se forman con mucha frecuencia.

#### **4. Materia orgánica y pH.**

En la Tabla 17, se muestra el porcentaje de materia orgánica para los dos niveles de trituración del tepetate por efecto de cada cultivo.

Se observa que todos los cultivos incrementaron el porcentaje de materia orgánica con respecto a los testigos. Los cultivos que mayor cantidad de materia orgánica aportaron en fino fueron pasto Rhodes, jitomate, soya y sorgo y en el nivel de trituración grueso fueron pasto Rhodes, veza, soya y jitomate. Las especies arbóreas fueron las que tuvieron los porcentajes de materia orgánica más bajos en los dos niveles de trituración.

No hubo diferencias significativas entre el aporte de materia orgánica y el nivel de fracturación del tepetate. Tampoco hubo diferencias significativas entre el tipo de cultivos, perennes o de ciclo corto, ni entre gramíneas y leguminosas.

Tabla 17. Prueba de Tukey para el parámetro Contenido de Materia Orgánica en el tepetate utilizado.

Planta	Nivel de Trituración	% Materia Orgánica	Significación Estadística*
Pasto Rhodes	Grueso	0.45	a
Pasto Rhodes	Fino	0.41	ab
Jitomate	Fino	0.41	ab
Soya	Fino	0.41	ab
Veza	Grueso	0.40	ab
Soya	Grueso	0.38	bc
Jitomate	Grueso	0.36	bcd
Sorgo	Fino	0.34	cde
Lenteja	Grueso	0.34	cde
Veza	Fino	0.34	cde
Trigo	Fino	0.32	def
Girasol	Fino	0.32	def
Trigo	Grueso	0.32	def
Girasol	Grueso	0.32	def
Sorgo	Grueso	0.32	def
Cebada	Grueso	0.29	efg
Cebada	Fino	0.27	fg
Pirúl	Fino	0.27	fg
Pirúl	Grueso	0.25	gh
Eucalipto	Fino	0.20	h
Eucalipto	Grueso	0.18	h
Lenteja	Fino	0.16	h
Casuarina	Fino	0.16	h
Casuarina	Grueso	0.14	hi
Testigo	Fino	0.10	i
Testigo	Grueso	0.10	i

ANDEVA	Factor	A: **
	Factor	B: N.S.
	Interacción	AB: **

El cambio en la acidez o alcalinidad del tepetate por efecto de los cultivos se muestra en la Tabla 18. La mayoría de los cultivos tuvo un efecto acidificante en los dos niveles de trituración; la lenteja en fino tuvo un valor estadísticamente equivalente al testigo y únicamente el pasto Rhodes y la cebada aumentaron el valor del pH, mostrando una tendencia hacia la neutralización en los dos niveles de trituración del material. El valor más bajo de pH se obtuvo con la casuarina en fino.

La relación entre el porcentaje de materia orgánica y el valor de pH para cada tratamiento, se muestra en la Figura 29.

En general, se puede observar que predominó el hecho de que los tratamientos con mayores porcentajes de materia orgánica son los que tuvieron valores bajos de pH. Sólo el pasto Rhodes en los dos niveles de trituración y la casuarina en fino mostraron comportamientos inversos. El pasto Rhodes fué el cultivo que mayor porcentaje de materia orgánica tuvo y presentó el valor más alto de pH y, la casuarina fué la especie que menor porcentaje de materia orgánica y menor valor de pH presentó.

El aporte de materia orgánica en un suelo, ocasiona cambios en el pH del mismo debido a su descomposición. Sin embargo, las variaciones en el pH también dependen del grado de descomposición en que se encuentra la materia orgánica; si ésta se encuentra en una etapa temprana de transformación, aún cuando la cantidad sea elevada, el cambio en el pH puede no ser significativo, ya que aún no habrá humificación ni mineralización lo cual explica los resultados obtenidos (Duchaufour, 1984)

Los principales problemas para la recuperación de zonas con tepetate son la baja disponibilidad de nutrimentos en dicho material y su dureza. Las plantas pueden mejorar la estructura del suelo y su fertilidad mediante el aumento en el contenido de materia orgánica en el mismo, ya sea por los residuos de la parte aérea o por la continúa muerte de raíces (Reid y Goss, 1981; SEP, 1982; Tovar, 1987; Zebrowski, 1991).

Los datos obtenidos en el presente estudio muestran claramente la influencia de las plantas en la acumulación de materia orgánica en el tepetate. El duripán estudiado contiene menos del 0.1% de materia orgánica, con los tratamientos el porcentaje se incrementó hasta 0.45, valor alcanzado con el pasto Rhodes. De hecho, el tepetate bajo cultivo con todas las plantas estudiadas tuvo más del 0.1% de materia orgánica, lo que sugiere que todas las plantas favorecieron su acumulación, resultados que coinciden con los obtenidos por Karimian y Razmi (1990), quienes además mencionan que las diferencias en el aporte de materia orgánica por las diferentes plantas están relacionadas tanto con las características morfológicas y metabólicas de las plantas, como con su tipo de sistema radical.

Tabla 18. Prueba de Tukey para el parámetro pH en el tepetate utilizado.

Planta	Nivel de Trituración	pH	Significación Estadística*
Pasto Rhodes	Grueso	7.07	a
Pasto Rhodes	Fino	7.03	b
Cebada	Fino	6.97	c
Cebada	Grueso	6.97	c
Testigo	Fino	6.90	d
Testigo	Grueso	6.90	d
Lenteja	Fino	6.90	d
Sorgo	Grueso	6.80	e
Trigo	Fino	6.80	e
Sorgo	Fino	6.73	f
Pirúl	Fino	6.73	f
Jitomate	Grueso	6.73	f
Eucalipto	Fino	6.73	f
Eucalipto	Grueso	6.73	f
Lenteja	Grueso	6.70	g
Soya	Fino	6.70	g
Girasol	Fino	6.70	g
Pirúl	Grueso	6.70	g
Soya	Grueso	6.70	g
Trigo	Grueso	6.70	g
Veza	Grueso	6.70	g
Jitomate	Fino	6.70	g
Casuarina	Grueso	6.70	g
Veza	Fino	6.67	h
Girasol	Grueso	6.63	i
Casuarina	Fino	6.60	j

ANDEVA	Factor	A:	**
	Factor	B:	N.S.
	Interacción	AB:	**

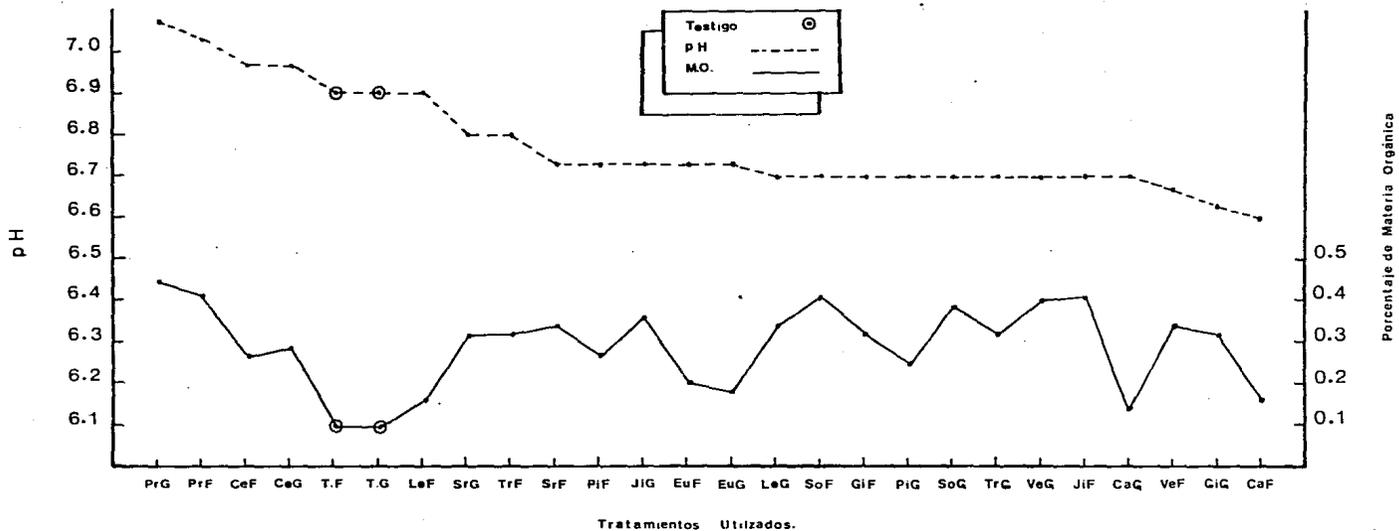


FIGURA 29 Efecto de los diferentes tratamientos en el porcentaje de materia orgánica y pH del tepetate estudiado.

Como ya se mencionó con anterioridad, la materia orgánica influye también en la formación y estabilidad de agregados, en el primer caso con la formación de complejos húmico-arcillosos y húmico-silicatados que forman agregados muy finos y en el segundo, porque forma una capa impermeable alrededor de los agregados con lo que se favorece la estabilidad al impedirse el paso del agua al interior del agregado (Hillel, 1982; Douchaufour, 1984; Bartoli *et al.*, 1988; Bathke *et al.*, 1992; Tisdall, 1994).

Lo anterior es apoyado por las observaciones hechas en el presente estudio, que muestran que las plantas que mayor porcentaje de materia orgánica aportaron, pasto Rhodes, jitomate, soya y veza, fueron también las que presentaron los valores de agregación más altos en los dos niveles de trituración, exceptuando a las especies arbóreas. Con base en lo anterior, se puede decir, que la formación de agregados por dichas plantas, además de ser resultado de la cementación por la sílice amorfa y de los efectos mecánicos de la raíz, también estuvo muy influenciada por el aporte de materia orgánica al tepetate.

Por otro lado, también se pudo observar, que las diferencias en el aporte de materia orgánica por cultivos perennes o de ciclo corto y leguminosas o gramíneas no fueron significativas.

En el caso de las especies arbóreas, cuyo porcentaje de agregación fué el más equilibrado en todos los niveles, pero su aporte de materia orgánica al tepetate fué mínimo, es posible que en la formación de agregados haya predominado el efecto mecánico y de empaquetamiento por el sistema radical, sobre la producción de exudados mucilaginosos y el efecto de la materia orgánica. Sin embargo, cabe señalar, que el ciclo vital de los árboles es muy largo y su desarrollo muy lento, de manera que el aporte de materia orgánica es menor comparado con el de las especies perennes herbáceas y con las de ciclo corto, cuyo desarrollo es mucho más rápido, principalmente en las últimas, cuyo ciclo vital concluye en cinco o seis meses.

## **5. Biomasa.**

En la Tabla 19, se muestra el peso seco aéreo de todos los cultivos en los dos niveles de trituración del tepetate. El pasto Rhodes fué el que presentó la mayor cantidad de follaje en los dos niveles de trituración con respecto a las otras especies. Las que tuvieron los valores menores fueron el trigo y el girasol en los dos niveles de trituración. Cabe señalar, que el deficiente desarrollo de las plantas de girasol, fué resultado del efecto negativo del fotoperíodo y no de los tratamientos.

En general, las leguminosas perennes y de ciclo corto, tuvieron valores de peso seco aéreo menores que las gramíneas, no por efecto de los tratamientos, sino por el hábito de crecimiento de ambos grupos. Las gramíneas independientemente de las condiciones producen

Tabla 19. Prueba de Tukey para el parámetro Peso Seco Aéreo (PSA)

Planta	Nivel de Trituración	PSA (g)	Significación Estadística*
Pasto Rhodes	Fino	32.47	a
Pasto Rhodes	Grueso	24.57	b
Sorgo	Grueso	23.50	bc
Pirúl	Fino	22.77	bc
Eucalipto	Grueso	22.03	bcd
Casuarina	Grueso	21.90	bcd
Sorgo	Fino	21.30	cd
Pirúl	Grueso	20.97	cde
Cebada	Grueso	20.87	cde
Cebada	Fino	19.33	def
Casuarina	Fino	18.37	ef
Eucalipto	Fino	17.07	fg
Jitomate	Grueso	14.37	gh
Soya	Grueso	14.20	gh
Lenteja	Fino	13.73	h
Jitomate	Fino	12.40	hi
Veza	Fino	11.77	hij
Lenteja	Grueso	10.10	ijk
Soya	Fino	9.40	jk
Veza	Grueso	9.13	jk
Trigo	Grueso	8.43	k
Trigo	Fino	4.03	l
Girasol	Fino	2.97	l
girasol	Grueso	2.73	lm
Testigo	Fino	0.00	m
Testigo	Grueso	0.00	m

ANDEVA	Factor	A: **
	Factor	B: N.S.
	Interacción	AB: N.S.

mucho más follaje que las leguminosas, sobre todo tratándose de especies como el pasto y el sorgo cuya reproducción vegetativa es muy frecuente y domina sobre la reproducción sexual.

El caso de las especies arbóreas es muy diferente y no se puede comparar con los otros cultivos debido a que se trata de especies leñosas, lo cual hace que su desarrollo sea diferente.

En la Figura 30, se observan las diferencias en el peso seco aéreo de cada especie en los dos niveles de trituración del tepetate. Las especies que se desarrollaron mejor en el nivel de trituración fino fueron pasto Rhodes, pirúl, lenteja y veza, cuyo peso seco aéreo fué mayor en dicho nivel que en grueso, aunque como se puede ver, las diferencias sólo fueron significativas en el caso del pasto y la lenteja. Todas las demás especies tuvieron mayor peso seco aéreo en el nivel grueso, es decir, se desarrollaron mejor en el tepetate de 2 a 20 mm. Las diferencias en este caso fueron significativas con casuarina, eucalipto, soya y trigo. El girasol tuvo el mismo desarrollo tanto en grueso como en fino debido a las condiciones ya mencionadas.

En general, el peso seco aéreo fué mayor en el nivel de trituración grueso para la mayoría de las especies estudiadas, debido tal vez a que las condiciones hídricas y de intercambio gaseoso son menos rígidas que en el nivel fino, donde el espacio poroso es muy reducido.

Los resultados del peso seco radical para cada cultivo se muestran en la Tabla 20. El mayor peso radical fué el de el sorgo y la cebada en fino y los valores más bajos fueron para el girasol y el trigo en los dos niveles de trituración y lenteja en fino.

En la Figura 31, se observa el peso seco radical de cada especie en relación con el nivel de trituración del tepetate. Las especies cuyo peso radical fué mayor en el nivel fino fueron sorgo, cebada, pirúl y lenteja y en todos los casos las diferencias fueron significativas. En los demás cultivos, el peso seco radical fué mayor en el nivel de agregación grueso, sin embargo, las diferencias sólo fueron significativas para el caso del pasto Rhodes, la casuarina y la soya.

En general, el peso radical fué mayor en el nivel grueso para la mayoría de los cultivos ya que los fragmentos de 2 a 20 mm permiten la existencia de un mayor número de poros de gran tamaño a través de los cuales pueden pasar fácilmente las raíces y continuar su crecimiento con menos restricciones que en el nivel fino, donde la porosidad es menor.

En la Figura 32, se muestra la relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radical para todos los tratamientos. Como se puede observar, no hubo una relación estrecha entre el desarrollo radical y la producción de follaje, lo cual concuerda con los resultados de Reid y Goss (1981). En la mayoría de los tratamientos, el peso radical fué mucho menor al peso aéreo,

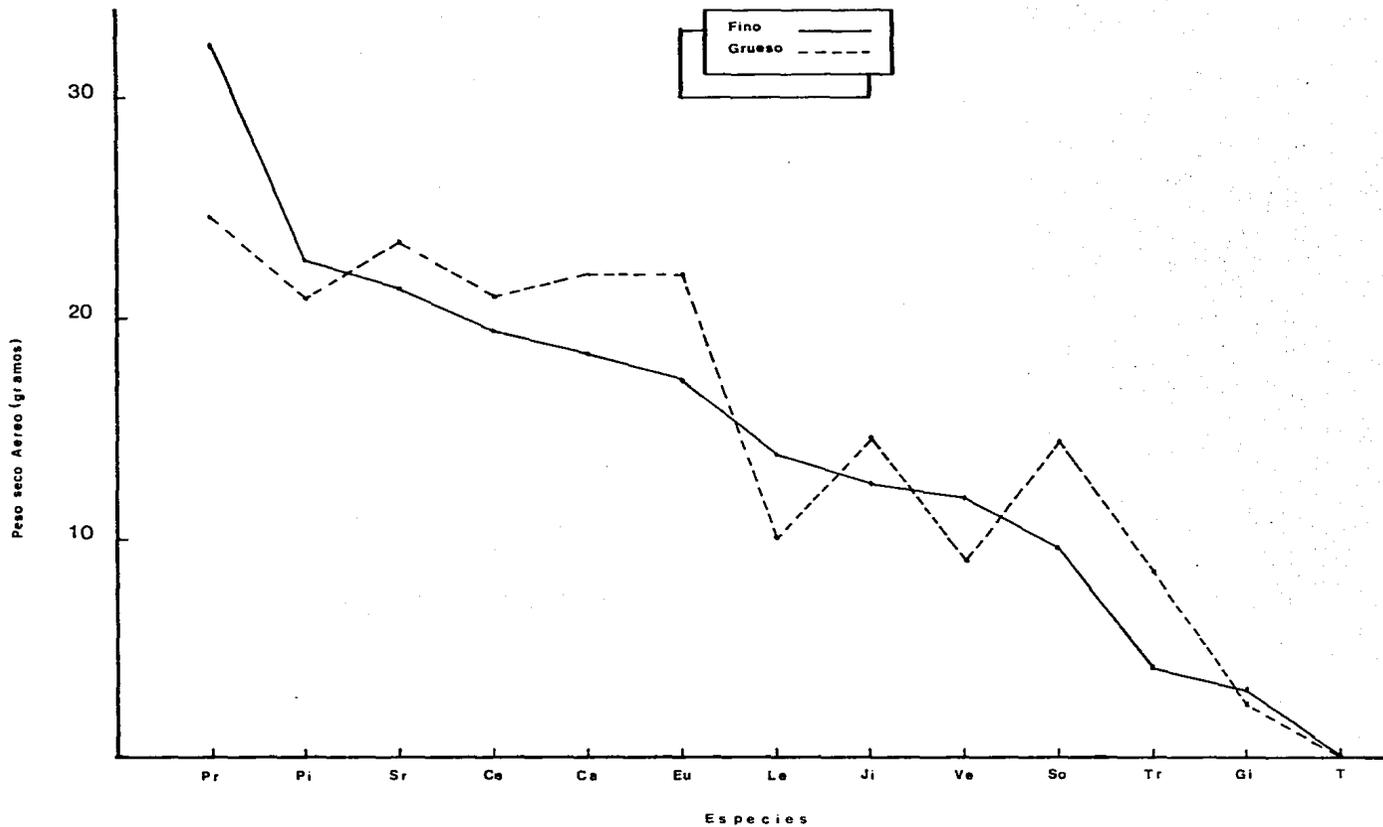


FIGURA 30 Peso seco aéreo de las especies estudiadas en los niveles de trituration probados.

**Tabla 20. Prueba de Tukey para el parámetro Peso Seco Radical (PSR).**

Planta	Nivel de Trituración	PSR (g)	Significación Estadística*
Sorgo	Fino	20.57	a
Cebada	Fino	17.73	b
Cebada	Grueso	13.73	c
Sorgo	Grueso	13.30	c
Pirúl	Fino	12.67	cd
Pasto Rhodes	Grueso	12.23	cde
Soya	Grueso	10.43	def
Casuarina	Grueso	10.07	ef
Pirúl	Grueso	10.00	efg
Eucalipto	Grueso	8.17	fgh
Eucalipto	Fino	7.67	ghi
Pasto Rhodes	Fino	7.60	hi
Casuarina	Fino	7.20	hi
Veza	Grueso	5.73	ij
Veza	Fino	5.57	ij
Lenteja	Fino	4.03	jk
Jitomate	Fino	3.50	jkl
Jitomate	Grueso	3.37	jkl
Soya	Fino	3.17	kl
Lenteja	Grueso	1.27	lm
Trigo	Grueso	0.67	m
Trigo	Fino	0.50	m
Girasol	Grueso	0.27	m
Girasol	Fino	0.17	m
Testigo	Fino	0.00	m
Testigo	Grueso	0.00	m

ANDEVA

Factor

A: \*\*

Factor

B: N.S.

Interacción

AB: N.S.

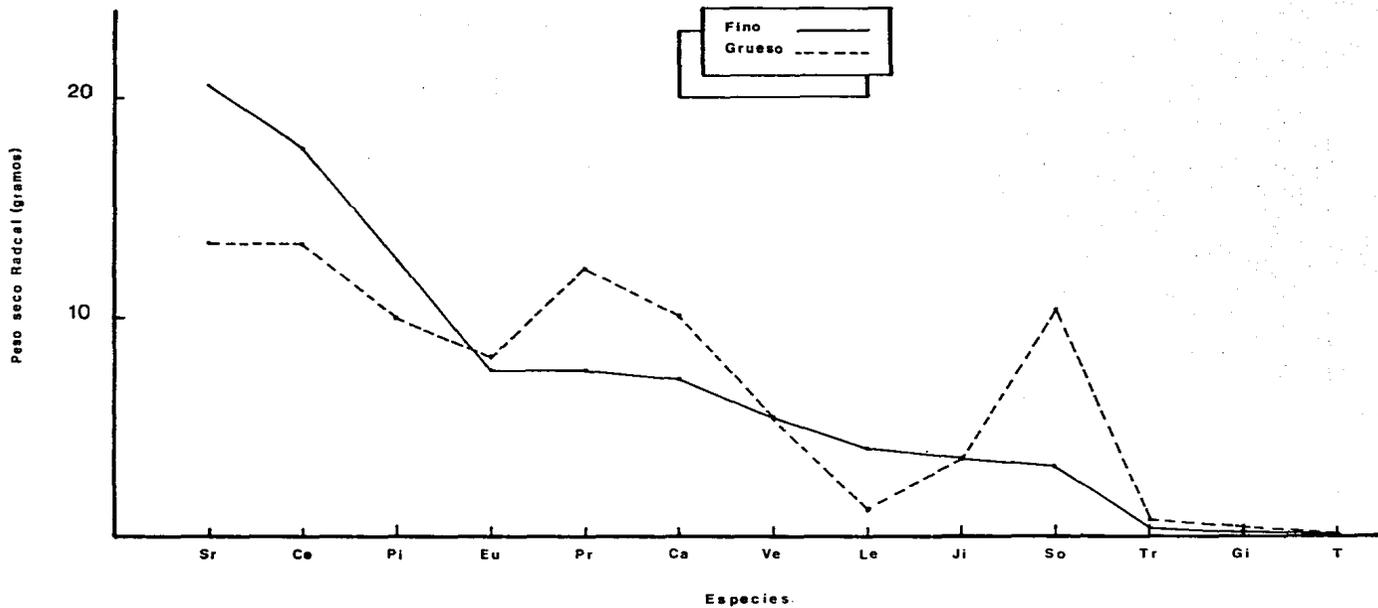


FIGURA 31 Peso seco radical de las especies estudiadas en los niveles de trituración probados.

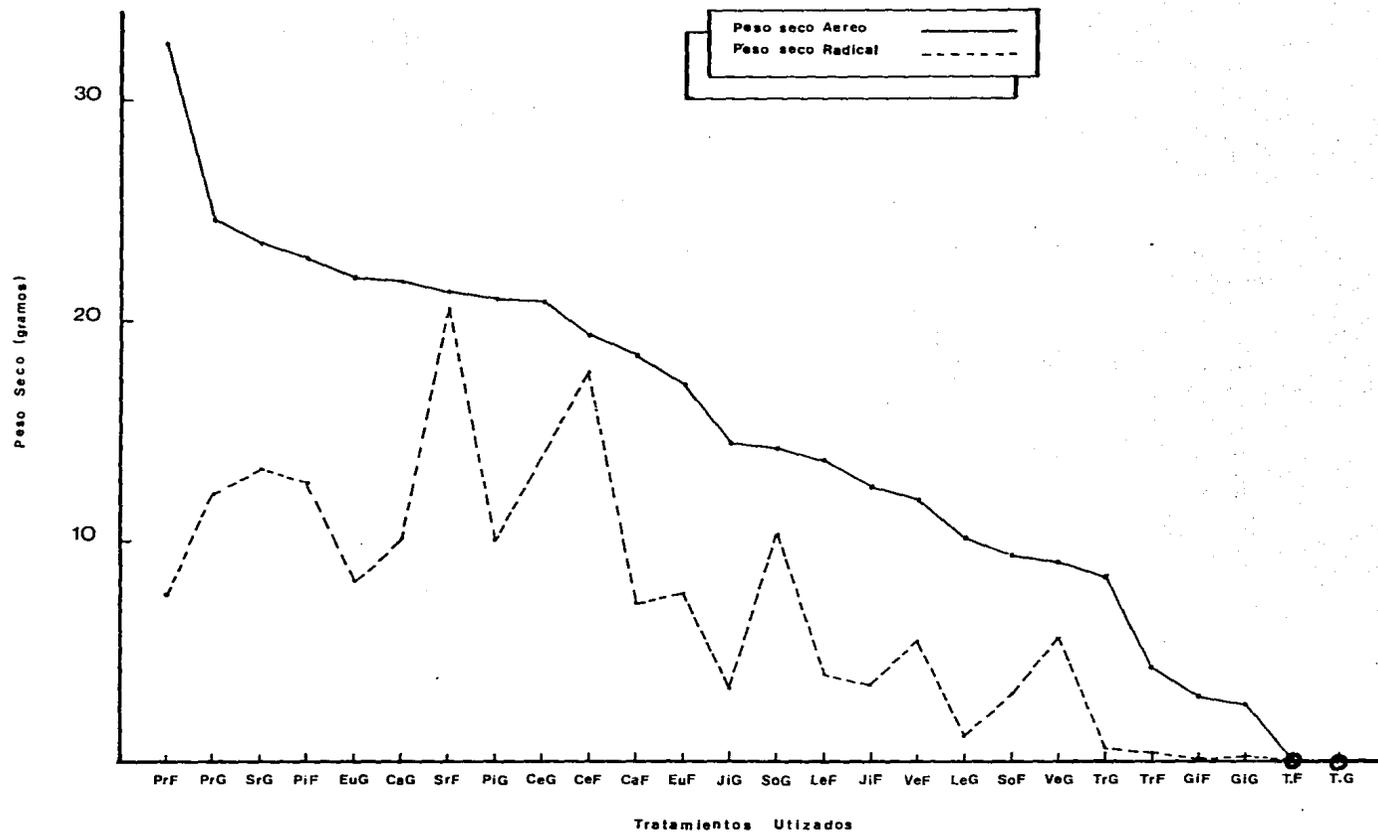


FIGURA 32 Efecto de los diferentes tratamientos en el peso seco aéreo y radical.

Tabla 21. Prueba de Tukey para el parámetro Frutos (F).

Planta	Nivel de Trituración	Frutos	Significación Estadística*
Lenteja	Fino	150.00	a
Lenteja	Grueso	55.67	b
Soya	Grueso	23.00	c
Veza	Fino	22.33	c
Cebada	Grueso	19.33	cd
Soya	Fino	15.33	d
Cebada	Fino	15.00	d
Jitomate	Fino	15.00	d
Veza	Grueso	14.33	de
Jitomate	Grueso	9.00	ef
Trigo	Grueso	8.00	f
Trigo	Fino	5.33	fg
Sorgo	Fino	4.00	fg
Sorgo	Grueso	3.33	fg
Pasto Rhodes	Fino	0.00	g
Pasto Rhodes	Grueso	0.00	g
Casuarina	Fino	0.00	g
Casuarina	Grueso	0.00	g
Eucalipto	Fino	0.00	g
Eucalipto	Grueso	0.00	g
Girasol	Fino	0.00	g
Girasol	Grueso	0.00	g
Pirúl	Fino	0.00	g
Pirúl	Grueso	0.00	g
Testigo	Fino	0.00	g
Testigo	Grueso	0.00	g
ANDEVA	Factor	A: **	
	Factor	B: **	
	Interacción	AB: **	

únicamente en el caso del sorgo y la cebada en fino y soya y veza en grueso, el peso seco radical fué aproximado al peso seco aéreo, principalmente, el sorgo en fino cuyos valores fueron casi iguales. El caso contrario lo manifestó el pasto Rhodes en fino, ya que fué la especie que produjo el mayor volumen de follaje con una producción radical media.

Con respecto a la producción de frutos, Tabla 21, se observa lo siguiente: las especies con el mayor número de frutos en el nivel de trituración fino fueron lenteja, veza, jitomate y sorgo, pero únicamente fueron significativas las diferencias, con respecto al nivel grueso, para veza, jitomate y lenteja. En el nivel grueso, la mejor producción de frutos fué en soya, cebada y trigo, pero sólo en el caso de la soya las diferencias fueron significativas.

En general, la producción de frutos fué ligeramente mayor en el nivel de trituración fino.

Comparando la producción general de biomasa en los dos niveles de trituración, se puede decir que la mayoría de las especies tuvieron una mayor producción de biomasa en el nivel de trituración grueso. Tal resultado se debe probablemente a que el nivel de trituración de 2 a 20 mm favorece la existencia de condiciones adecuadas para el desarrollo vegetal, tales como un mayor espacio poroso, mayor intercambio gaseoso, paso del agua al subsuelo y menor resistencia al crecimiento radical. No obstante, es necesario hacer énfasis en que el nivel fino también permite un buen desarrollo de las especies vegetales y éstas son capaces de mejorar la estructura de las capas cementadas de manera eficiente en los dos niveles de fracturación.

## VII. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

### **Sobre el tepetate utilizado.**

1. El tepetate estudiado del estado de Morelos es un duripán cuyas características físicas y químicas permitieron detectar los efectos de disgregación, alteración y agregación de las plantas estudiadas sobre dicho material.

### **Textura.**

2. La disminución de las partículas de limo y arcilla y el incremento de las partículas de arena en el tepetate, detectado después del experimento, fué resultado de la agregación de las primeras por cementación de la sílice amorfa disuelta.

### **Disgregación y agregación.**

3. En la formación de agregados en el tepetate influyeron principalmente tres factores: (a) el efecto cementante de la sílice amorfa, (b) el aporte de materia orgánica por el cultivo y (c) los efectos mecánicos y químicos de las raíces.

4. En la formación de microagregados (menores de 0.25 mm) predominó el efecto cementante de la sílice amorfa.

5. En la formación de macroagregados, la cementación por sílice fué menor y predominaron la acción de la materia orgánica y el efecto de las raíces.

6. La disgregación pudo llevarse a cabo por: (a) fenómenos químicos, como la hidrólisis y la óxido-reducción, (b) mecánicos, a causa del crecimiento radical y (c) físicos, por la contracción y expansión de las arcillas y materiales amorfos, resultado de los ciclos de humedecimiento y secado.

7. En el nivel de trituración fino, hubo disgregación de las partículas menores de 2 mm y formación de agregados mayores de 2 mm.

8. En el nivel de trituración fino, la mayor disgregación se dió en las unidades menores de 0.25 mm con todas las especies.

9. El mayor incremento en el porcentaje de agregación en fino fué en los agregados mayores de 20 mm.

10. En el nivel de trituración grueso (mayores de 2 mm), hubo disgregación en los intervalos mayores de 7 mm y formación de agregados menores de 7 mm. Además de tal comportamiento, las especies arbóreas y el jitomate produjeron agregados mayores de 7 mm.

11. En el nivel de trituración grueso, la mayor disgregación se dió en el nivel de 7 a 10 mm.

12. La mayor agregación en el nivel de trituración grueso fué en el intervalo de 2 a 3 mm.

13. No hubo formación de agregados de 5 a 7 mm en el nivel fino.

14. Los agregados de 5 a 7 mm en el nivel grueso no sufrieron alteración significativa con respecto al testigo.

15. Es muy probable que el nivel de 2 a 5 mm sea una de las primeras etapas en la formación de macroagregados.

16. Para el período observado y las condiciones experimentales probadas, no hubo diferencia significativa en la capacidad de formación de agregados entre especies herbáceas perennes y plantas de ciclo corto, como tampoco las hay entre leguminosas y gramíneas.

17. Para las mismas condiciones citadas en la conclusión anterior, las especies arbóreas son las que tienen mayor capacidad de agregación y disgregación.

**Materia orgánica.**

18. Todas las especies estudiadas incrementaron el porcentaje de materia orgánica en el tepetate.
19. El aporte de materia orgánica fué diferente con cada planta. La especie que produjo el incremento mayor fué el pasto Rhodes.

**pH**

20. El pH del tepetate tendió a acidificarse muy ligeramente por efecto de las especies vegetales.

**Biomasa.**

21. La producción de biomasa fué mayor en el nivel de trituración grueso del tepetate en relación al fino.

## LITERATURA CITADA

1. Acharya, S.N., Darroch, B.A., Hermesh, R. and Woosaree, J. 1992. Salt stress tolerance in native Alberta populations of slender wheat grass and alpine bluegrass. *Canadian Journal of Plant Science* 72(3):785-792.
2. Angers, D.A., Pesant, A. and Vigneux, J. 1992. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial biomass. *Soil Science American Journal* 56:115-119.
3. Arias, R.H.M. 1991. Rehabilitación de tepetates: una alternativa para la producción agropecuaria y forestal, in *Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 62-63.
4. Bartoli, F., Philippy and Burtin, G. 1988. Aggregation in soils with small amounts of swelling clays. I. Aggregate stability. *Journal of Soil Science* 39:593-616.
5. Bathke, G.R., Cassel, D.K., Eargrove, W.L. and Porter, P.M. 1992. Modification of soil physical properties and root growth response. *Soil Science* 154(4):316-329.
6. Baver, L.A. y Gardner, W.R. 1980. *Física de suelos*. UTEHA, México.
7. Black, C.A., Evans, D.D., Whaite, J.L., Ensminger, L.E. and Clark, F.E. 1965. Methods of soil analysis. Part 1 Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Am. Soc. of Agron., Inc. Publisher, Madison, Wisconsin, U.S.A. p. 770.
8. Bogdan, A.V. 1977. *Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes)*. Longman, London. p. 475.
9. Bouchibi, N., Van Bruggen, A.H.C. and MacDonald, J.D. 1990. Effect of ion concentration and sodium: calcium ratio of a nutrients solution on *Phytophthora* root rot of tomato and zoospore motility and viability of *Phytophthora parasitica*. *Phytopathology* 80(12):1323-1329.
10. Bowling, D.J.F. and Watson, B.T. 1984. Phosphate uptake by excised sunflower roots-evidence for a pump leak system. *Membrane Transport in Plants* p. 387-388.
11. Bouyoucos, G.J. 1963. Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Science* 42:25-30.
12. Camargo, R.E.O. y Guido, A.I. 1987. Roturación y trituración de tepetate en el Valle del Mezquital, su efecto en la agricultura bajo condiciones de riego in Ruiz, F.J.F. *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH, México. p 143-155.

13. Cervantes, B.J.F. 1983. Génesis, morfología y clasificación de los suelos de la cuenca de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. p. 441.
14. Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío - S.A.G. 1969. Guía para la asistencia técnica agrícola. CIAB, México. p. 150.
15. Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York. p. 229-643.
16. Delgadillo, P.M.E., Miranda, M.M.E. y Ruiz, H.B.R. 1991. Practicas de manejo realizadas por los campesinos de Santa Catarina del Monte para incorporar el tepetate a la producción in Primer simposio internacional de suelos volcánicos endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 50-53.
17. Dinel, H., Mehuys, G.R. and Levesque, M. 1991. Influence of humic and fabrics materials on the aggregation and aggregate stability of a lacustrine silty clay. *Soil Science* 151(2):146-158.
18. Dorioz, J.M., Robert, M. and Chenu, C. 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. *Geoderma* 56:179-194.
19. Dubroecq, D., Quintin, P. y Zebrowski, C. 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Esquema preliminar de clasificación. *Terra* 7(1):3-12.
20. Duchaufour, P. 1984. Edafología. 1. Edofogénesis y clasificación. Masson, S.A., España
21. Easterwood, G.W., Street, J.J., Harris, W.G., Weiblen, P.W. and Robitaille, H.A. 1991. Plant-induced smectite neogenesis from the mineral component of a simulated lunar soil. *Geoderma* 48:107-112.
22. El Massary, A.A., Gaafar, S.A. and Abdel-Rehim, M.F. 1991. Effect of rice media reactions on the nitrite ion formation. *Egyptian Journal of Soil Science* 31(3):283-289.
23. Ellsworth, T.R., Clap, C.E. and Blake, G.R. 1991. Temporal variations in soil structural properties under corn and soybean cropping. *Soil Science* 151(6):405-416.
24. Etchevers, B.J.D., Cruz, H.L., Mares, A.J. y Zebrowski, C. 1991. Fertilidad de los tepetates: I. Fertilidad actual y potencial de los tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada, in Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 50-53
25. Flach, K.W., Nettleton, W.D., Gile, L.H. and Cady, G.J. 1969. Pedocementation: induration by silica, carbonates and sesquioxides in the Cuaternary. *Soil Science* 107(6):442-453.

26. Flores, R.D., González, V.A., Alcalá, M.J.R., Gama, C.J.E. 1991. Los tepetates. *Revista de Geografía* 3(4):37-41.
27. Flores, R.D., Alcalá, M.J.R., González, V.A. y Gama, C.J.E. 1992. Suelos con fragipán de origen volcánico en clima semicálido y subhúmedo -el caso del noreste del estado de Morelos, México. *Rev. del Instituto de Geología, U.N.A.M.* 10(2):151-163.
28. Grossman, R.B. and Carlisle, F.J. 1969. Fragipan soils of the eastern United States. *Advance of Agrom.* 21:237-279.
29. Guerra, C.V. y Garzón, C.C.E. 1991. Crecimiento de cinco especies forestales y su relación con la recuperación de suelos en Tlaxcala in *Primer Simposio Internacional de Suelos volcánicos Endurecidos*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 96.
30. Guerrero, A. 1984. Cultivos herbáceos extensivos. *Mundi-Prensa, España.* p. 743.
31. Guerrero, G.E., Luna, M.J.L., Caballero, O.E. 1991. Distribución de los tepetates de la República Mexicana escala 1:4000000 in *Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 12.
32. Henry, L.T., Raper, C.J. and Rideoot, J.W. 1992. Onset of and recovery from nitrogen stress during reproductive growth of soybean. *International Journal of Plants Sciences* 153(2):178-185.
33. Hernández, X.E. 1987. Etnobotánica de Tlaxcala in Ruiz, F.J.F. *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH., México. p. 1-7.
34. Hillel, D. 1982. *Introduction to soil physics*. Academic Press Inc., New York. p. 41-53.
35. Hitchcock, A.S. 1950. *Manual of the grasses of the United States*. U.S. Dep. of Agriculture, Washington, D.C. p. 1051.
36. Jackson, M.L. 1970. *Análisis químico de suelos*. Omega, Barcelona, España. p. 662.
37. Johnson, H. 1980. *Hydroponics: A guide to soilless culture system*. Division of Agricultural Sciences, University of California. p. 14.
38. Karimian, M. and Razmi, K. 1990. Influence of perennial plants on chemical properties of arid calcareous soils in Iran. *Soil Science* 150(4):717-721.
39. Kaúrichev, I.S., Panov, N.P., Stratonóvich, M.V. and Grechin, I.P. 1980. *Prácticas de edafología*. Ed. Mir, Moscú. p. 94-95.
40. Keng, J.P. 1991. Effect of cadmium on nitrogen metabolism of pea seedlings and cell suspension cultures. *Journal of the Agricultural Association of China New Series* 0(154):21-31.

41. Kenyon, S. 1982. Hydroponics for the home gardener. Van Nostrand Reinhold, Toronto, Canadá. p. 146.
42. Khattak, R.A., Page, A.L., Parker, D.R. and Bakhtar, D. 1991. Accumulation and interactions of arsenic, selenium, molybdenum and phosphorus in alfalfa. *Journal of Environmental Quality* 20(1):165-168.
43. Lal, R, and Greenland, D.J. 1979. Soil physical properties and crop production in the tropics. John Wiley and Sons, New York. p. 47-93.
44. Lamplugh, G. W. 1907. The geology of the Zambezi Basin around the Bakota George (Rhodesia). *Geol. Soc. London Quart. Jour.* 64:162-216.
45. Leita, L., Contin, M. and Maggioni, A. 1991. Distribution of cadmium and induced Cd-binding proteins of roots, stems and leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Science* 77(2):139-147.
46. Llerena, V.F.A. y Sánchez, B.B. 1991. Recuperación de tepetates en la vertiente oriental del Valle de México in Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo México. p. 59-61.
47. Maas, E.V. y Grieve, C.M. 1990. Spike and leaf development in salt-stressed wheat. *Crop Science* 30(6): 1309-1313.
48. Maldonado, T.R. 1961. Método universal para la preparación de soluciones nutritivas. CEDOC, UACH. p. 21.
49. Marañón, G.G. 1994. Caracterización de suelos con tepetates y su relación con la vegetación en el municipio de Tetela del Volcán, edo. de Morelos. Tesis U.N.A.M. p.90.
50. Marcar, N.E. and Termaat, A. 1990. Effects of the root-zone solutes on *Eucalyptus camaldulensis* and *Eucalyptus bicostata* seedlings responses to Na super (+), Mg super (2+) and Cl super (-). *Plant Soil* 125(2): 245-254.
51. Márquez, A. Zebrowski, C. y Navarro, H. 1991. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates in Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 122-123.
52. Martínez, T.M., Olechko, K. y Arias, R.H. 1991. Estimación del estado óptimo del tepetate en el proceso de su recuperación in Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 56.
53. Morfín, L.L. y Camacho, M.F. 1987. El palo dulce *Eysenhardtia polystachya*, (Ortega) Sarg., una alternativa para la explotación forrajera de áreas tepetatosas in Ruiz, F.J.F. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, México. p. 192-198.

54. Munsell. 1975. Soil Color Chart. Edition Munsell Color Company, Inc. Maryland, U.S.A.
55. Narro, F.E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. Trillas, México. p. 36-44.
56. Narro, G.H. y Zebrowski, C. 1991. Análisis agronómico comparativo en tepetate in Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 86-88.
57. Nimlos, T.J. 1986. La nomenclatura de horizontes endurecidos en suelos de cenizas volcánicas. Primer Simposio Nacional sobre uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Departamento de Suelos, Chapingo, México. p. 10-16.
58. Nimlos, T.J. y Ortíz, S.C. 1987. Tepetate. The rock mat. Journal of Soil and Water Conservation 42(2):83-86.
59. Nimlos, T.J. 1989. The density and strength of mexican tepetate (Duric materials). Soil Science 147(1):23-27.
60. Nimlos, T.J. and Hillery, A.P. 1990. The strength/moisture relations and hydraulic conductivity of mexican tepetate. Soil Science 50(1):425-430.
61. Pacheco, L.M.C. 1979. Cartografía y caracterización mineralógica de los tepetates del oriente del Valle De México. Tesis. UACH. Chapingo, México.
62. Pedraza, C.E., Rodríguez, F.C. y Fierros, G.A.M. 1987. Establecimiento de cinco especies forestales en tres tipos de tepetate de la zona de Tequesquihuac a Coatepec, Estado de México in Ruíz, F.J.F. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, México. p. 128-140.
63. Peña, B.V. 1987. Importancia de la mycorriza en el establecimiento de plantaciones forestales en tepetates in Ruíz, F.J.F. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH., México. p. 119-125.
64. Pessarakli, M., Tucker, T.C. y Nakabayashi, K. 1991. Growth response of barley and wheat to salt stress. Journal of Plant Nutrition 14(4):331-340.
65. Pihakaski, S. and Antikainen, M. 1991. Primary changes in winter rye leaves during cold acclimation. Luonnon Tutkija 95(1-2):114-115.
66. Pimentel, B.L. 1991. Cómo hacer a los tepetates productivos in Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 84-85.
67. Pritchett, W.L. 1986. Suelos forestales. Limusa, México. p. 213-232.

68. Qi, B., Gao, W., Yang, X. and Tian, X. 1990. The effects of rare earth elements on the growth and the absorption of partial mineral elements in maize seedlings. *Acta Agronomica Sinica* 16(4):305-310.
69. Reid, J.B. and Goss, M.J. 1981. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *Journal of Soil Science* 32:521-541.
70. Renningsfeld, F. and Kurzmann, P. 1983. Cultivos hidropónicos y en turba. Mundi-Prensa, México. p. 49-57.
71. Resh, M.H. 1978. Hydroponic food production. Woodbridge Press Publishing Company, U.S.A. p. 287.
72. Rey, C.J.A. 1987. Evaluación de la construcción de zanjas trincheras para el control de la erosión en la zona de tepetates de la zona de San Pablo Ixayoc, Estado de México in Rufz, F.J.F. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, México. p. 180-181.
73. Robles, S.R. 1979. Producción de granos y forrajes. Limusa, México p. 591.
74. Robles, S.R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Limusa, México. P. 675.
75. Rodríguez, R.R., Tabares, R.J.M. y Medina, S.J.A. 1984. Cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa, España. p. 206.
76. Rojas, R.T. y Sánchez, W.T. 1985. Historia de la agricultura en época prehispánica. Siglo XVI. Colección Biblioteca del I.N.A.H., Inst. Nac. de Antrop. e Hist. México, D.F.
77. Román, L.E.A. 1987. Respuesta de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill.) a diferentes mezclas de sustratos en charolas almacigueras bajo condiciones de invernadero. Tesis. p. 81.
78. Rosas, P.A.C. 1987. Contenido y rendimiento de proteína cruda de la asociación **Sorghum alnum/Macropitilium atropurpureum** bajo dos métodos de siembra y cinco niveles de fertilización en el ejido de Tepetzingo, Morelos. Tesis U.N.A.M., México. p. 591.
79. Ruiz, F.J.F. 1987. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH. Chapingo, México. p. 222.
80. Rzedowski, J. 1978. La vegetación de México. Limusa, México. p. 432.
81. Sánchez, F, y Escalante, E. 1981. Hidroponia. UACH, Chapingo, México. p. 176.
82. Sánchez, J.M. 1991. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero. Tesis. UACH, Chapingo, México. p. 119.

83. Sánchez, J.M., Ruiz, F.J.F. y Cautle, F.E. 1987. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero in Ruíz, F.J.F. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, México. p. 58-68.
84. Sánchez, S.O. 1980. La flora del Valle de México. Herrero, México. p. 519.
85. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1988. Guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia del campo experimental Zacatepec. S.A.R.H., México. p. 195.
86. Secretaria de Educación Pública. 1982. Cultivos forrajeros. Manuales para la educación agropecuaria. Trillas, México. p. 80.
87. Secretaria de Gobernación y Gobierno del Estado de Morelos. 1988. Los municipios de Morelos. Colección enciclopédica de los municipios de México.
88. Secretaria de Programación y Presupuesto. 1981. Síntesis geográfica del estado de Morelos. Ins. Nac. de Geog. e Inform., México.
89. Singh, D.N., Singh, R.P. and Sivastava, H.S. 1991. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of some cultivars. Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B 61(2):245-247.
90. Soil Survey Staff. 1960. Soil clasification. A comprehensive system, 7th aproximation. U.S. Govt. Print Office, Washington, D.C.
91. Soil Survey Staff, 1967. Suplement to soil clasification system. Soil Conservation Service, U.S.D.A.
92. Souza, N.N. 1950. Plantas alimenticias y plantas de condimento que viven en Yucatán. Ins. Tec. Agr. Hen. Mérida, Yucatán, México. p. 265.
93. Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil 159:115-121.
94. 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 Ruíz, F.J.F. Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. UACH, México. p. 157-170.
95. Trueba, C.A. 1980. Tepetate and soil erosion in the Valley of Mexico. A paper to be submitted to the Journal of Soil and Water Conservation. p. 10.
96. Utomo, W.H. and Dexter, A.R. 1982. Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil. Journal of Soil Science 33:623-637.

97. Valdez, M.L.A. 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la cuenca de México. Tesis. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p.190.
98. Walkley, A.L. and Black, A. 1947. Rapid determination of soils organic matter. *Jour. Agric. Sci.* 25:598-63-68.
99. Weinberger, P. and Yee, D. 1984. The influence of nitrogen sources on root-mediated changes in substrate pH. *Canadian Journal Botany* 62(1):161-162.
100. Wilkinson, R.E. and Ohki, K. 1991. Effect of PCMBS and EPTC on mineral nutrient uptake and traslocation in wheat. *Journal of Plant Nutrition* 14(1):93-108.
101. Williams, B.J. 1972. Tepetate in Valley of Mexico. *Annals of the assn. of An. Geog.* 62(3): 618-623.
102. Williams, L.A., Parks, G.A. and Crerar, D.A. 1985. Silica diagenesis I. Solubility controls. *Journal of Sedimentary Petrology* 55(3):0301-0311.
103. Wood, I.M. 1990. Response of seedlings of soybean, sunflower and sorghum to added mineral nitrients. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 30(6):833-840.
104. Woolnough, W.G. 1927. The duricrust of Australia. *Royal Soc. New South Wales J. and Proc.* 61:24-53.
105. Yang, Z. 1990. Selection of from and pH value of nutrient solution for water culture of eucalypt seedling. *Forest Research* 3(5):495-498.
106. Zahonero, P., Navarro, H. y Toledo, A. 1991. Análisis comparativo de cultivos en tepetate y en suelos no endurecidos in *Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p.119-121.
107. Zebrowski, C. 1991. Los suelos volcánicos endurecidos en América Latina in *Primer Simposio Internacional de Suelos Volcánicos Endurecidos*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 1-4.

**IX**  
**APENDICE**

**Tabla 22. Porcentajes del tepetate triturado en los niveles estudiados en los testigos fino y grueso.**

Niveles (mm)	Porcentaje Testigo fino	Porcentaje Testigo grueso
< 0.25	33.76	0.00
0.25 - 0.5	11.90	0.00
0.5 - 1	24.97	0.00
1 - 2	29.37	0.00
2 - 3	0.00	11.10
3 - 5	0.00	10.47
5 - 7	0.00	2.83
7 - 10	0.00	42.90
10 - 15	0.00	13.23
15 - 20	0.00	10.13
> 20	0.00	9.34
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

### ANALISIS DE VARIANZA

Diseño completamente al azar, factorial de dos factores.  
Tablas de análisis de varianza (ANDEVA).

Variable: Porcentaje de arena.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	0.08	0.080	0.00
A	12	1917.21	159.768	7.02
AB	12	280.54	23.379	1.03
Error	52	1184.00	22.769	

Coefficiente de variación 6.48%

Variable: Porcentaje de limo.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	0.03	0.029	0.00
A	12	1259.46	104.955	6.85
AB	12	190.01	15.834	1.03
Error	52	797.17	15.330	

Coefficiente de variación: 16.68%

Variable: Porcentaje de arcilla.

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	0.21	0.205	0.20
A	12	76.26	6.355	6.18
AB	12	10.71	0.893	0.87
Error	52	53.50	1.029	

Coefficiente de variación: 35.01%

Variable: Agregados menores de 0.25 mm

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	1660.62	1660.615	229.82
A	12	839.75	69.979	9.68
AB	12	1162.56	96.880	13.41
Error	52	375.73	7.226	

Coefficiente de variación: 33.80%

**Variable: Agregados de 0.25 a 0.5 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	459.90	459.902	231.02
A	12	80.64	6.720	3.38
AB	12	161.78	13.481	6.77
Error	52	103.52	1.991	

Coefficiente de variación: 33.47%

**Variable: Agregados de 0.5 a 1 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	4155.16	4155.160	198.10
A	12	490.71	40.893	1.95
AB	12	1015.07	84.589	4.03
Error	52	1090.71	20.975	

Coefficiente de variación: 34.44%

**Variable: Agregados de 1 a 2 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	3015.70	3015.705	321.23
A	12	268.20	22.350	2.38
AB	12	856.84	71.404	7.61
Error	52	488.17	9.388	

Coefficiente de variación: 19.98%

**Variable: Agregados de 2 a 3 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	3983.27	3983.266	198.77
A	12	706.71	58.893	2.94
AB	12	149.91	12.493	0.62
Error	52	1042.08	20.040	

Coefficiente de variación: 34.65%

**Variable: Agregados de 3 a 5 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	2932.96	2932.960	540.34
A	12	184.51	15.366	2.83
AB	12	72.95	6.079	1.12
Error	52	282.25	5.428	

---

Coefficiente de variación: 26.42%

**Variable: Agregados de 5 a 7 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	105.70	105.701	25.20
A	12	92.05	7.671	1.83
AB	12	56.68	4.723	1.13
Error	52	218.09	4.194	

---

Coefficiente de variación: 85.60%

**Variable: Agregados de 7 a 10 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	5830.97	5830.966	223.29
A	12	1273.07	106.089	4.06
AB	12	1204.73	100.394	3.84
Error	52	1357.95	26.114	

---

Coefficiente de variación: 34.62

**Variable: Agregados de 10 a 15 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	264.00	264.003	52.94
A	12	128.19	10.683	4.14
AB	12	207.93	17.327	3.47
Error	52	259.33	4.987	

---

Coefficiente de variación: 56.54%

**Variable: Agregados de 15 a 20 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	21.45	21.466	3.61
A	12	139.94	11.662	1.96
AB	12	293.74	24.478	4.12
Error	52	309.29	5.948	

Coeficiente de variación: 52.94%

**Variable: Agregados mayores de 20 mm**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	1874.74	1874.740	43.77
A	12	4302.48	358.540	8.37
AB	12	2172.07	181.005	4.23
Error	52	2227.07	42.828	

Coeficiente de variación: 55.80%

**Variable: Porcentaje de materia orgánica**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
A	11	0.47	0.043	4.55
B	1	0.00	0.003	0.31
AB	11	0.06	0.006	0.60
Error	48	0.45	0.009	

Coeficiente de variación: 31.66%

**Variable: pH**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
A	11	0.98	0.089	58.12
B	1	0.00	0.002	1.45
AB	11	0.11	0.010	6.41
Error	48	0.07	0.002	

Coeficiente de variación: 0.58%

**Variable: Peso seco aéreo.**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	5.93	5.926	0.28
A	12	5082.97	423.581	20.16
AB	12	259.54	21.629	1.03
Error	52	1092.37	21.007	

Coeficiente de variación: 32.99%

**Variable: Peso seco radical**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	0.15	0.148	0.01
A	12	2251.91	187.659	13.51
AB	12	249.44	20.787	1.50
Error	52	722.12	13.887	

Coeficiente de variación: 50.81%

**Variable: Frutos**

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F
B	1	1026.78	1026.782	12.15
A	12	55722.33	4643.528	54.94
AB	12	12599.05	1049.921	12.42
Error	52	4394.67	84.513	

Coeficiente de variación: 66.46%