



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

## **FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA  
PRODUCCIÓN DE LA ASOCIACIÓN MAIZ - HABA, EN UN TEPETATE DE  
TERCER AÑO DE HABILITACIÓN AGRÍCOLA**

### **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**P R E S E N T A**

**EDUARDO ASCENCIO ZAPATA**

**ASESOR DE TESIS: DR. AURELIO BÁEZ PÉREZ  
ASESOR: M.C. JUAN ROBERTO GUERRERO AGAMA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos **LA TESIS:**

“Efecto de Incorporación de Abonos Orgánicos en la Producción de la Asociación Maíz + Haba, en un Tepetates de Tercer Año de Habilitación Agrícola”

Que presenta el pasante: **Eduardo Ascencio Zapata**  
Con número de cuenta: **08205476-8** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”**  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Marzo de 2012

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	Dr. Salvino Edvino Vega Rojas	
<b>VOCAL</b>	Ing. Hilda Carina Gómez Villar	
<b>SECRETARIO</b>	M.C. Juan Roberto Guerrero Agama	
<b>1er SUPLENTE</b>	M.A. Guillermo Basante Butrón	
<b>2do SUPLENTE</b>	M.C. Oscar Horacio Guillén Ayala	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).  
HHA/pm

## DEDICATORIAS

A mi padre por darme la vida y el enseñarme a conocer el camino, que me ha llevado a seguir adelante, aun que ya no estés se que esto es lo que querías para todos. In memoria para tí.

A mi esposa por el apoyo y cariño que me ha brindado en todos estos años de estar juntos, los cuales nos hemos sobrepuesto en todo momento, hemos salido juntos hacia delante de todos los vaivenes que hemos pasado. Por ser mi esposa y compañera.

A Norma: por su apoyo moral y económico que ha sido para la familia, ejemplo de la hermana mayor.

A Guadalupe: por su ayuda y apoyo que me ha brindado.

A Nacho: Por la razón de su vida

A Rafael: porque siempre siga adelante.

A mi madre que siempre se ha preocupado por todos a su ardua tarea de proveernos de lo necesario y dedicación y tolerancia que nos ha tenido en todo tiempo, su incansable lucha y abnegación que tienes para todos en las buenas y las malas.

Por mi hija y para ella, que espero siempre piense en la superación tanto intelectual y social y no sumirse en sueños, sino en el presente y el futuro que es de ella y para ella. Por tener una frente que besar por siempre.

A mi hermano Martín que signífico en un momento la grandeza de la familia, porque crecimos juntos. In memoria, todo el tiempo.

A Santiago: que ha sido un gran trabajador.

A Pedro: porque encuentre el camino correcto

A Rosa: Por ser la última y la primera en dar un fruto intelectual, no se te olvide esto.

Agradezco al IRD-Ex-ORSTOM, por el apoyo económico otorgado para la realización del presente trabajo.

Al proyecto: Regeneración y conservación de suelos volcánicos endurecidos y estériles de América Latina: Chile, Ecuador y México (ERB-TS3\* CT930252), financiado por la Unión Europea.

Al Colegio de Postgraduados, por los apoyos y facilidades para la realización de la presente investigación.

Al Dr. Christian Prat, por permitirme hacer participe en el proyecto y su apoyo que me brindo durante los años que se realizo la investigación.

Agradezco profundamente a Aurelio Báez Pérez, por su gran apoyo que me brindo como amigo, compañero y director de esta tesis, porque sin él no hubiera sido posible la realización de esta.

A Alfonso Márquez que me invito a participar el proyecto de tepetates y ser un compañero en la facultad.

A Roberto Guerrero por su amistad, compañero de facultad y al gran apoyo en la tramitación y conclusión de este trabajo.

A Alejandro Roldan por ser profesor y amigo, que agradezco los comentarios ofrecidos durante la estancia en la Facultad y que de alguna manera contribuyeron en la realización de este trabajo y mi vida.

A los trabajadores del Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, en las arduas jornadas laborales que nos asistieron.

A mis grandes amigos y compañeros de Facultad: Salvador Perea, Alfredo Manríquez, Marcos Moran, Silvestre..... y todos los que me faltan por mencionar.

## ÍNDICE

INDICE.....	i
INDICE DE CUADROS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iv
INDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.1.1. Objetivos particulares.....	3
2.2. Hipótesis.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Concepto de suelo.....	4
3.2. Deterioro del suelo.....	4
3.3. Población y recursos naturales.....	5
3.4. Suelo y seguridad alimentaria.....	6
3.5. Los tepetates.....	8
3.5.1. Geología.....	8
3.5.2. Clima.....	9
3.5.3. Origen.....	10
3.5.4. Clasificación de los tepetates en México.....	10
3.5.5. Características físicas y mineralógicas.....	12
3.5.6. Características químicas.....	13
3.5.7. Fertilidad de los tepetates.....	14
3.5.8. Recomendaciones para su habilitación agrícola.....	15
3.5.8.1. Roturación.....	15
3.5.8.2. Construcción de terrazas.....	16
3.5.8.3. Control de la erosión.....	17
3.5.9. Limitantes del sustrato roturado.....	17
3.5.10. Déficit nutrimental.....	19
3.5.11. Contenido de materia orgánica.....	21
3.5.12. Manejo de los cultivos.....	22

3.5.13. Limitantes climáticas.....	25
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1.Sitio experimental.....	26
4.2.Clima.....	26
4.3.Tipos de suelo del sitio experimental.....	26
4.4.Tipo de tepetates.....	28
4.5.Preparación del terreno.....	29
4.6.Registro de la precipitación.....	30
4.7.Descripción de las parcelas experimentales.....	30
4.7.1. Los tratamientos.....	33
4.7.2. Diseño experimental.....	33
4.7.3. Variables de estudio para el cultivo de haba.....	33
4.7.4. Variables de estudio para el cultivo de maíz.....	34
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1.Variables climáticas.....	36
5.1.1. Precipitación.....	36
5.2.Variables agronómicas en haba.....	37
5.3.Variables agronómicas en maíz.....	42
5.4.Variables agronómicas en maíz - haba.....	45
6. CONCLUSIONES.....	47
7. BIBLIOGRAFÍA.....	48
8. ANEXOS.....	55

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características físicas de los tepetates.....	13
Cuadro 2.	Características químicas de los tepetates.....	14
Cuadro 3.	Descripción de los tratamientos evaluados. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	33
Cuadro 4.	Componentes de rendimiento en cultivo de haba asociado con maíz. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	39
Cuadro 5.	Análisis estadístico de las variables evaluadas en maíz y haba. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	40
Cuadro 6.	Componentes de rendimiento en cultivo de maíz asociado con haba. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Toposecuencia y ubicación de los tepetates.....	9
Figura 2.	Formación de costras en la superficie en tepetates cultivados. a) Costra estructural, b) costra de erosión, c) costra de escurrimiento y d) costra de decantación.....	18
Figura 3.	Concentración de carbono orgánico en tepetates cultivados en diversos sistemas de manejo agronómico	21
Figura 4.	Rendimiento de forraje y grano respectivamente de la asociación cebada y veza en un tepetate cultivado por primera ocasión. Tratamientos: (1) Roturación 60 cm + cebada-veza, (2) Roturación 45 cm + monocultivo de cebada, (3) Roturación 45 cm + cebada-veza + estiércol (4) Roturación doble + cebada-veza, (5) Roturación 45 cm + cebada-veza y (6) Suelo + cebada-veza.....	23
Figura 5.	Rendimiento de grano de maíz, haba y frijol en un tepetate durante el segundo y tercer ciclo respectivamente. Tratamientos: (1) Roturación 60 cm + maíz-haba-frijol (2), Roturación 45 cm + monocultivo de maíz, (3) Roturación 45 cm + maíz-haba-frijol, (4) Roturación doble + maíz-haba-frijol, (5) Roturación 45 cm + maíz-haba-frijol y (6) Suelo + maíz-haba-frijol.....	24
Figura 6.	Localización del área de estudio. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	27
Figura 7.	Vista aérea panorámica de las parcelas de estudio. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	30
Figura 8.	Croquis de las parcelas experimentales. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	31
Figura 9.	Proceso de la incorporación agrícola de los tepetates de los Estados de México y Tlaxcala.	32
Figura 10	Equipo para medir la intensidad y volumen de	

	escurrimiento y la cantidad de sedimentos arrastrados después de cada evento de lluvia.....	32
Figura 11.	Precipitación anual acumulada cada 10 días durante 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	36
Figura 12.	Floración masculina y femenina en maíz azul asociado con haba. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	42
Figura 13.	Rendimiento total de grano (maíz - haba). Ciclo primavera- verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	46

## 8. ANEXOS

Anexo 1.	Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 1, con adición de estiércol y los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	55
Anexo 2.	Anexo 2. Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 2, con adición de fertilizante químico e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	55
Anexo 3.	Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 3, con adición de sólo fertilizante químico. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	56
Anexo 4.	Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 4, con adición de fertilizante químico e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior en el suelo de referencia. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	56
Anexo 5.	Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 1, con adición de estiércol e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	57
Anexo 6.	Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 2, con adición de fertilizante químico e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	57
Anexo 7.	Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz	

	correspondiente al tratamiento 3, con adición de sólo fertilizante químico. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	58
Anexo 8.	Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 4, con adición de estiércol e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior en el suelo de referencia. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.....	58

## RESUMEN

En el Eje Neovolcánico de México la erosión hídrica ha provocado, en grandes extensiones, el afloramiento de tepetates: tobas volcánicas endurecidas. Estos materiales son infértiles y no pueden sostener vegetación, debido principalmente a su dureza y poca permeabilidad; sin embargo, pueden ser cultivados después de una previa habilitación agrícola (roturación, nivelación, bordes, fertilización) y un adecuado manejo agronómico. La mencionada zona posee una alta densidad poblacional y presenta escasez de tierra de cultivo. De ahí el interés en la habilitación de los tepetates para la producción agrícola o forestal. Se evaluó un ensayo en parcelas de tepetate de tercer año de cultivo, donde se estudió el efecto de la incorporación de abonos químicos y orgánicos en la producción de dos cultivos que se siembran tradicionalmente en la región: maíz y haba en asociación, bajo condiciones de temporal. Los tratamientos establecidos fueron los siguientes: Sin adición de fertilizante químico, con incorporación de  $7.7 \text{ t ha}^{-1}$  de estiércol fresco de bovino e incorporación de los esquilmos de cosecha de los cultivos anteriores: la asociación maíz+frijol+haba (T1). Adición de N-P-K de 70-60-00. Sin incorporación de estiércoles, pero con incorporación de los esquilmos de cosecha de los cultivos anteriores (T2). Semejante a T2, pero sin incorporación de los esquilmos de cosecha de los cultivos anteriores (T3). Suelo Faozem (tratamiento que se encuentra en el mismo sitio experimental), tratamiento de referencia, con manejo semejante a T2 (T4). La precipitación anual del ciclo de cultivo fue de 620 mm, con una distribución irregular de las lluvias, pero suficiente para el desarrollo de los cultivos. Los resultados en la producción de haba tuvieron su mayor rendimiento en T3, con sólo adición de fertilizante químico, con  $0.6 \text{ t ha}^{-1}$ ; sin embargo, fue estadísticamente igual ( $p < 0.05$ ) a T1 y T2, es decir, a todos los tratamientos con tepetate. T4, suelo de referencia, tuvo la menor producción, con poco más de  $0.2 \text{ t ha}^{-1}$ . La mayor capacidad de retención de humedad y el sombreado proporcionado por el cultivo de maíz, provocaron enfermedades fúngicas que afectaron el desarrollo del cultivo en este tratamiento. La producción de maíz en T4 fue más del doble respecto a lo obtenido en T2 y T3, y cerca de 4 veces a T1. Lo anterior se debió, en parte, a que hubo un mayor desfase entre la floración masculina y femenina en el cultivo en los

tratamientos con tepetate, y a una menor disponibilidad de nitrógeno por competencia con microorganismos que mineralizan la materia orgánica. Los resultados muestran que estos tepetates habilitados para la producción agrícola, después de tres años de cultivo, aun presentan restricciones para el desarrollo de los cultivos.

**Palabras clave:** Suelos volcánicos endurecidos, agricultura de temporal, conservación de suelos.

## ABSTRACT

In the Trans Volcanic Belt of Mexico water erosion has resulted in large areas, the outcrop of tepetates: hardened tuffs. These materials are infertile and can not support vegetation, mainly due to its hardness and low permeability, but can be grown after a previous agricultural ameliorated (clearing, grading, edging, fertilization) and appropriate agronomic management. The said area has a high population density and has a shortage of farmland. Hence the interest in enabling tepetates for agriculture or forestry. We evaluated a trial plots tepetate third year of cultivation, where we studied the effect of the incorporation of chemical and organic fertilizers in the production of two crops grown traditionally in the region: corn and beans in partnership, under conditions of temporary. Established treatments were: no addition of chemical fertilizer, with incorporation of  $7.7 \text{ t ha}^{-1}$  of fresh bovine manure and incorporation of the stalks to harvest the previous crop: beans with the corn + bean + (T1). Addition of N-P-K 70-60-00. Without incorporation of manure, but with incorporation of the stalks of the previous crop harvest (T2). Similar to T2, but without addition of the stalks of the previous crop harvest (T3). Faozem soil (treatment that is in the same experimental site), treatment of reference, like management T2 (T4). The annual rainfall of the growing season was 620 mm, with an uneven distribution of rainfall, but sufficient for crop development. The results in the production of beans had their best performance at T3, with only the addition of chemical fertilizer, with  $0.6 \text{ t ha}^{-1}$ , however, was statistically similar ( $p < 0.05$ ) at T1 and T2, namely, all tepetate treatments. T4, reference soil, had the lowest production, with just over  $0.2 \text{ t ha}^{-1}$ . The greater moisture holding capacity and shading provided by the corn crop caused fungal diseases affecting crop growth in this treatment. Maize production in T4 was more than double to that obtained at T2 and T3, and about 4 times T1. This was due, in part because there was a greater gap between male and female flowering in cultivation tepetate treatments, and reduced availability of nitrogen competition with microorganisms mineralize organic matter. The results show that these tepetates enabled agricultural production after three years of cultivation, even have restrictions for crop development.

**Keywords:** hardened volcanic soils, rainfed agriculture, and soil conservation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los graves problemas que repercuten directamente en la agricultura en México es la degradación de los suelos. La tala inmoderada, las técnicas inapropiadas de cultivo, el abuso de los insumos agrícolas y la sobreexplotación han ocasionado en la actualidad un severo deterioro de los suelos en el país, base de la seguridad alimentaria. La SEMARNAT (2002) reportó que en el plano nacional, la extensión territorial de suelos degradados por el hombre cubre el 45%, siendo el proceso de degradación química el más abundante (18%), la erosión hídrica (12%), la erosión eólica (9%) y la degradación física (6%). En los suelos de laderas, ubicados en lomeríos, piedemonte o en las serranías, el fenómeno de la erosión hídrica es el principal factor de deterioro de los suelos. La deforestación, el cambio de uso de suelo y la falta de obras de conservación, frecuentemente propician la pérdida de las capas cultivables en grandes extensiones de terreno, generando paisajes yermos. En el Eje Neovolcánico Transversal, la erosión ha provocado el afloramiento de un material subyacente conocido localmente como tepetate. Vocablo derivado del Náhuatl “*tetl*” y “*petlatl*”, que literalmente quiere decir lecho endurecido. Los tepetates son tobas volcánicas endurecidas por procesos geológicos y pedológicos (Etchevers *et al.*, 2006), cuya dureza y compactación impide la infiltración de agua y la penetración de las raíces de las plantas, por lo cual son estériles para la agricultura. Estos materiales volcánicos se formaron a partir de materiales piroclásticos de antiguos depósitos de cenizas volcánicas en la era cuaternaria (Mielich, 1992). Zebrowski (1992) mencionó que los tepetates cubren en el Eje Neovolcánico Transversal alrededor de 30,700 km<sup>2</sup>, mientras que Guerrero *et al.* (1992) mencionaron que los tepetates cubren en el país aproximadamente 11.6% del territorio nacional.

La primera limitante que se tiene con estos materiales volcánicos para incorporarlos a la producción agrícola o forestal, es de tipo físico. La dureza limita la infiltración de agua y la penetración de las raíces de las plantas. La roturación mecánica del lecho endurecido mediante maquinaria pesada (Caterpillar D7 o D8) permite convertir grandes superficies en un sustrato cultivable (Báez *et al.*, 2007a). Una vez removido

el tepetate las principales limitantes en el crecimiento de las plantas, son la disposición de nutrimentos, principalmente nitrógeno y fósforo (Etchevest *et al.*, 1992). La selección de cultivos adecuados, el empleo de abonos químicos y orgánicos como: la incorporación de pajas y estiércoles, son alternativas que permiten obtener rendimientos agrícolas aceptables. En este trabajo se pretende evaluar el efecto de la de materia orgánica a partir de la incorporación y no incorporación de abonos orgánicos sobre un tepetate roturado de tercer año de cultivo, donde se sembró maíz asociado con haba en condiciones de temporal.

## **2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la incorporación de abonos químicos y orgánicos en la producción de la asociación maíz + haba en un tepetate habilitado para la producción agrícola con tres años cultivo.

#### **2.1.1. Objetivos particulares**

- Evaluar el efecto de la incorporación de estiércol de bovino en la producción de la asociación maíz + haba en un tepetate habilitado para la producción agrícola en su tercer año de cultivo.
- Evaluar el efecto de la incorporación de residuos de cosecha + una dosis complementaria de fertilizante químico en la producción de la asociación maíz + haba en un tepetate habilitado para la producción agrícola en su tercer año de cultivo.

### **2.2. Hipótesis**

- La incorporación de estiércol de bovino y la incorporación de residuos de cosecha + la dosis complementaria de fertilizante químico, proporcionarán una producción de grano semejante al tratamiento testigo.
- La incorporación de residuos de cosecha sin la dosis complementaria de fertilizante químico, tendrá el menor rendimiento de grano.

### **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1. Concepto de suelo**

El concepto de suelo en un sentido tradicional es concebido como un medio natural para el crecimiento de las plantas. Se considera importante porque a través de éste se pueden obtener alimentos, fibras, plantas medicinales, madera y otros productos que satisfacen las necesidades humanas.

La USDA (1999) definió el suelo como un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que se produce en la superficie de la tierra y que se caracteriza por la diferenciación de horizontes o capas, distinguibles del material original como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía o de la capacidad de soportar plantas enraizadas en un entorno natural. Esta definición es bastante amplia y trata de involucrar varios aspectos desde una perspectiva puramente científica que permita su clasificación.

Desde el punto de vista ecológico, el suelo es un componente primario de los ecosistemas terrestres, sustenta la vegetación y la vida animal, funciona como un filtro de agua y es un gran digestor de la materia orgánica terrestre. El suelo influye de manera importante en la regulación de varios ciclos biogeoquímicos en el planeta. Entre los más conocidos el del carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y otros.

#### **3.2. Deterioro del suelo**

El suelo es un recurso natural primario de los ecosistemas terrestres, y es tan sólo un componente de un sistema global, el cual interactúa de manera compleja con la atmósfera, la vegetación, la fauna, el agua, la radiación solar, etcétera. Es por eso que el cambio de uso de suelo y su deterioro por el impacto de las actividades humanas en la actualidad, ha traído como consecuencia repercusiones a nivel global en el clima, porque se ha provocado un desequilibrio en el sistema. Uno de los elementos químicos que se encuentra almacenado en el suelo, y que inclusive es un

indicador de su fertilidad, es el carbono orgánico. Este elemento, en un ecosistema natural, es suministrado de manera biológica al suelo, en su mayor parte, por la vegetación incorporada como materia orgánica. Las plantas fijan en su estructura el CO<sub>2</sub> de la atmósfera por medio de la fotosíntesis. Durante su descomposición en el suelo por los microorganismos, una parte del carbono se mineraliza y vuelve a la atmósfera nuevamente como CO<sub>2</sub>, y otra parte es fijada en el suelo por diversos mecanismos. Según Swift (2001) las reservas de C en los suelos del mundo son más del doble a las que se encuentran en la atmósfera y la vegetación, mientras Lal (2004) menciona que esta reserva es 3.3 veces mayor que la reserva atmosférica y 4.5 veces mayor que la contenida en los seres vivos. Cabe señalar que una planta, en general, en su peso seco, almacena entre 40 y 50% de carbono.

Los suelos agrícolas, debido a la perturbación a la que son sometidos, frecuentemente contienen bajos niveles de carbono orgánico y otros elementos que son esenciales para la nutrición de los cultivos. Por eso la importancia de adicionarlos en forma de abonos químicos u orgánicos. Sin embargo, el uso excesivo de insumos en la agricultura intensiva ha traído como consecuencia el deterioro del suelo. En México según estimaciones de la SEMARNAT (2002) la extensión territorial de suelos degradados por el hombre cubre en el país 45%, siendo el proceso de degradación química el más abundante (18%), la erosión hídrica (12%), la erosión eólica (9%) y la degradación física (6%). Los principales factores causativos de la degradación de los suelos de México son las actividades agrícolas y el sobrepastoreo. La deforestación se ubica en el tercer lugar. Tlaxcala (74%), Yucatán (71%) y Tabasco (71%) son los Estados que presentan mayor grado de degradación en sus suelos.

### **3.3. Población y recursos naturales**

La población mundial en 2009 se calculó en más de 6, 700 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento anual de alrededor de 2%. Se estima que a este ritmo en 2050 habrá más de 9, 000 millones de habitantes en el planeta, con una tendencia de crecimiento exponencial (Population Reference Bureau, 2009). En

México la población actual es de 112 millones de habitantes y se espera que para 2050 haya más de 150 millones. Es el segundo país más poblado de América Latina y el undécimo en el mundo. Aproximadamente el 50% de sus habitantes viven en zonas urbanas.

Thomas Malthus en su ensayo sobre el principio de la población, publicado en 1798, expuso que mientras el crecimiento poblacional en el mundo seguía una progresión geométrica, la producción de alimentos seguía una progresión aritmética. Lo anterior presupone, con esas tendencias, que la población mundial en algún momento no encontrará recursos naturales suficientes para su subsistencia. En la sociedad actual los avances científicos y tecnológicos han proporcionado conocimiento y herramientas para aumentar la productividad agrícola e industrial, produciendo en abundancia productos agropecuarios, que si bien, no satisfacen las necesidades de alimentación de toda la población mundial, se debe a la mala distribución de la riqueza y a una compleja economía de mercado en que las sociedades se encuentran inmersas. El hombre a lo largo de su historia ha deforestado millones de hectáreas, provocando con ello la extinción de miles de especies animales y el deterioro del suelo.

Según estimaciones de la FAO (2009), se necesitará aumentar la producción de alimentos en 70% respecto a la producción actual para satisfacer la demanda de alrededor de 2, 300 millones de habitantes más. Lo anterior presupone una explotación más intensiva del suelo como medio para proveer de alimentos. Sin embargo, las actuales crisis: económica, energética, ecológica y alimentaria ponen de manifiesto que existe un grave problema para las futuras generaciones sino se consideran acciones correctivas para remediar en parte el deterioro ecológico ocasionado por las actividades humanas.

### **3.4. Suelo y seguridad alimentaria**

El suelo es un recurso natural no renovable en el corto plazo y es fundamental tanto para la seguridad alimentaria de la humanidad, como para el ambiente y la Ecología.

Para destacar su importancia en la producción de alimentos, basta con observar algunas estadísticas básicas. En 2008 se sembraron en el mundo alrededor de 545 millones de hectáreas para la producción de los tres cereales más importantes para la alimentación humana, de las cuales 30% fue destinada a maíz, 41% a trigo y 29% al arroz (FAO, 2009). En México, durante el mismo año, se destinó para estos cultivos una superficie de cerca de 9.5 millones de hectáreas, con una distribución por cultivo de 85.4%, 9% y 5.6% respectivamente (SIAP, 2009). Es innegable que toda la producción agrícola, pecuaria y forestal se sustente en el suelo, de ahí la importancia que tiene para satisfacer la mayor parte de las necesidades de alimentación básica de la humanidad, además del papel que juega en la Ecología, lo cual está estrechamente ligado a la problemática actual del cambio climático global.

Las sociedades modernas en crecimiento constante, demandan cada vez más energía (combustibles y electricidad), agua potable y productos básicos para su alimentación. Sin embargo, cada vez es más difícil proveer dichos satisfactores, entre otras causas, por la crisis energética actual, por el deterioro de los recursos naturales y por la contaminación de los cuerpos de agua potable. El agotamiento del petróleo, que es una de las principales fuentes de energía que el hombre utiliza y que influye de manera determinante en la economía mundial (además de la gasolina que también es materia prima para la producción de fertilizantes nitrogenados), ha encarecido significativamente los productos agropecuarios. La deforestación y el deterioro de los suelos han ocasionado la desertificación de millones de hectáreas y la excesiva demanda de insumos agrícolas para tratar de obtener rendimientos económicamente rentables. Mientras que la contaminación y sobreexplotación de acuíferos ha ocasionado la escasez de este vital líquido en las grandes ciudades. Por otra parte el surgimiento de la industria de los biocombustibles también compite por la producción de granos básicos.

En resumen, la acelerada sobre explotación de los recursos naturales por el hombre ha tenido consecuencias devastadoras. Por lo tanto es una de las problemáticas que requieren prioritaria atención, porque ponen en riesgo el bienestar de las futuras

generaciones. La degradación de los suelos, el abatimiento de los mantos acuíferos y la contaminación son problemas que amenazan la seguridad alimentaria de la humanidad. Es una realidad que es urgente tomar medidas que ayuden a revertir la problemática antes mencionada

### **3.5. Los tepetates**

Tepetate, en México, es una expresión que vernáculamente se refiere a cualquier capa de suelo endurecida. Su nombre deriva del término náhuatl "*tepetatl*" que significa cama de piedra. Williams (1992) señaló que ya en el siglo XVI la expresión era usada para clasificar materiales asociados a la tierra; se empleaba para designar tanto materiales ligeramente friables con consistencia rocosa como un suelo arable. Ortiz y Gutiérrez (1999) aclararon que tal ambigüedad provendría del uso en la clasificación campesina antigua, de dos términos similares, *tepetatl* cuyo significado ya fue explicado y *tepetlatali*, que se refiere a tierras trabajables y que serían sinónimos. El significado técnico-científico moderno de tepetate y su equivalente en otros países (talpetate, cangahua y moroto, entre otros) es de una capa de tobas, flujos piroclástico o antiguas cenizas volcánicas endurecidas, incorporadas en el perfil o aflorando en la superficie (por erosión del suelo superficial), que se encuentran principalmente en áreas de influencia volcánica, particularmente en climas con dos estaciones muy marcadas, una seca y otra lluviosa (Etchevers *et al.*, 2006).

#### **3.5.1. Geología**

México se caracteriza por ser un país que en su territorio presenta topografía muy accidentada, debido a que se encuentra dentro de un área de gran actividad volcánica, la cual ha provocado grandes elevaciones a lo largo del país como la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental. El Estado de México está situado en lo que se denomina Eje Neovolcánico, y comprende sucesivamente, desde el norte hasta el sur, tres zonas volcánicas principales: Tláloc Telapón (4,120 m), Iztaccíhuatl (5, 230 m) y Popocatépetl (5, 465 m). Aproximadamente 65% de la topografía del Estado de México es accidentada, la cual representa 1, 400, 200 ha

con lomeríos (GIT, 1993). Los tepetates en los Valles Centrales de México y Tlaxcala se encuentran situados en tres tipos de geformas que son accidentadas, como: piedemonte, glacis y sobre materiales geológicos de tipo piroclásticos con endurecimiento de origen volcánico. Se ubican a una altitud comprendida entre 2,250 y 2,800 m, sin embargo es posible encontrarlos desde 1,800 hasta 3,400 msnm (Figura 1) (Peña y Zebrowski, 1993).

### 3.5.2. Clima

Debido a la altitud, las condiciones de clima en donde se encuentran los tepetates, varían desde templado seco hasta templado sub-húmedo. La época de lluvias es generalmente de 6 meses, desde mayo hasta octubre, y la sequía también es aproximadamente de 6 meses. En la temporada seca uno o dos meses son sub-húmedos, abril y noviembre, y de 4 a 5 meses son sub-áridos, desde diciembre hasta marzo. La temperatura media anual varía desde 11 hasta 15 °C, la variación diurna es mayor que 10 °C con heladas nocturnas muy frecuentes durante el invierno. La precipitación media anual puede ser de menos de 500 mm a más de 700 mm (Quantin *et al.*, 1993).

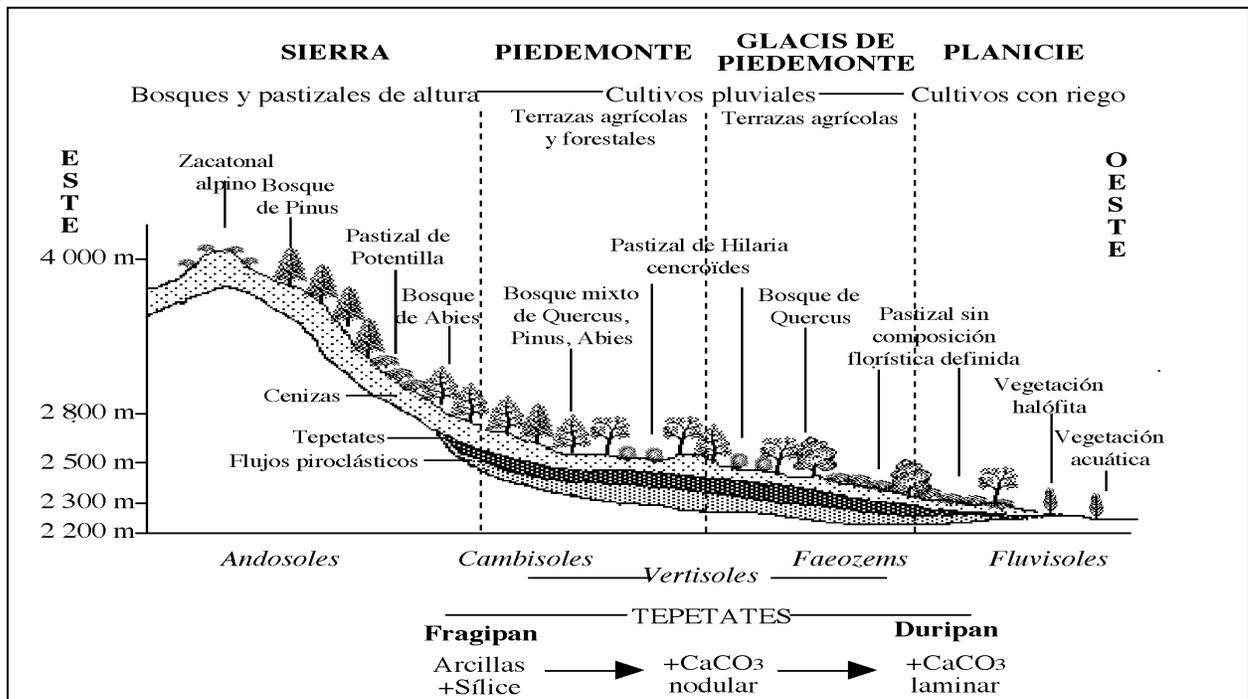


Figura 1. Toposecuencia y ubicación de los tepetates.

### **3.5.3. Origen**

Los tepetates se originaron por depósitos de ceniza volcánica que fueron proyectadas por antiguas explosiones piroclásticas ocurridas desde hace 20,000 hasta 40,000 años (Dubroeuq, 1992). Estas cenizas han sido alteradas a través del tiempo por procesos geológicos y edáficos. Miehlich (1992), Zebrowski (1992) y Quantin (1992) coincidieron en que los materiales originales de los tepetates están básicamente constituidos por proyecciones piroclásticas, como formas de lluvia o de flujos. El endurecimiento de las formaciones puede ser de origen geológico, que consiste en el endurecimiento al momento de la deposición, en el caso de los flujos piroclásticos, o pedológico con aporte de cementos tales como el carbonato de calcio, arcillas o sílice.

Hidalgo *et al.* (1992) investigó que bajo condiciones climáticas secas el sílice no está en cantidades suficientes como para servir de cementante, mientras que en climas más húmedos si puede actuar como cementante.

### **3.5.4. Clasificación de los tepetates en México**

La primera clasificación de los tepetates que se tiene registro fue hecha por los habitantes precolombinos. El tepetate no fue considerado como roca, pero tampoco podía manejarse con instrumentos de labranza que se utilizaban en aquel entonces, como la coa (Williams, 1972).

Más recientemente los tepetates han sido clasificado como duripanes, que son horizontes cementados por sílice y presentan gran dureza tanto en estado seco como húmedo (Valdez-Marín, 1970) ó bien como frágipanes, que son duros en estado seco y se reblandecen cuando se humedecen (Hidalgo, 1995). Estos últimos son factibles de roturar mecánicamente y transformarlos en suelos agrícolas o forestales.

Nimlos (1987), clasificó al tepetate en diferentes tipos en función a su dureza, sus propiedades físicas y su sensibilidad a la erosión. De acuerdo a este autor se

clasifican en (1) tepetates sin caliza (con cemento de sílice), (2) tepetates con caliza (con o sin cemento de sílice), con caliza diseminada (cemento de carbonatos difusos) y (3) tepetates con caliza laminada (caliza dura).

Otro sistema de clasificación propuesto por Dubroeuq *et al.*, (1989), para tepetates ubicados en la meseta central, considera su origen: (1) volcanogénéticos, éstos tipos son mejor clasificados por el tamaño de partícula y grado de cementación, lo cual depende de la temperatura al momento del depósito de las ceniza volcánica. (2) Pedogénéticos, que considera el tipo de cementante (sílice ó carbonato), el color, el grado de endurecimiento y el horizonte (C ó Bt).

Otro sistema de clasificación es el de Vera y López (1992) para tierras endurecidas en Ecuador (cangahua) incluye una Taxonomía geológica que reconoce a los materiales volcánicos de varios tamaños de partículas, cementados o depositados en los cauces o depresiones.

Soil Survey Staff (1975) reconoce las capas duras como fragipán, duripan, horizonte petrocálcico, horizonte petrogípsico, horizonte plágico y orstein, están en parte definidas por sus características morfológicas y que son de origen geológico, no son consideradas horizontes del suelo.

La distinción entre capa pedogenética y capa cementada de origen geológico, es decir, lo que es un suelo y un no suelo. La distinción es importante no solamente por definición sino también para ciertos objetivos prácticos. La distribución y posición de un horizonte de suelo cementado puede relacionarse con otros horizontes del suelo, con otras propiedades del mismo como la hidrología y requieran de métodos y herramientas de trabajo empleados por geólogos (Flach *et al.*, 1992). Algunos de los sistemas de clasificación formal propuesto por Dubroeuq *et al.*, (1989) así como las categorías superiores del USDA (1999) dan mayor atención a la clase de cementante.

Otra clasificación de los suelos volcánicos endurecidos por Zebrowski (1992) da mayor importancia a la naturaleza de los horizontes endurecidos y a su posición en el perfil, como así, los horizontes ricos en acumulaciones calcáreas son llamados “petrocálcicos” para sílice “duripánes”. El término de “fragipán”, se utiliza para los horizontes que se disgregan en agua; y considerar su dureza más o menos reversible. En caso de que los horizontes estén localizados en profundidad, se clasifica el suelo superior.

Peña y Zebrowski (1992) clasifican a los tepetates de la Vertiente noroccidental de la Sierra Nevada del Estado de México entre Teotihuacán y Chalco, tomando en cuenta criterios estratigráficos, edad y climáticos se identificaron seis diferentes tipos de tepetates: (1) Tepetates desarrollados a partir de brechas sedimentarias volcánicas sin  $\text{CaCO}_3$ , (2)Tepetates t3 sin  $\text{CaCO}_3$ , (3)Tepetates t3 con  $\text{CaCO}_3$ , (4)Tepetates t2 con  $\text{CaCO}_3$ , (5)Tepetates t2 sin  $\text{CaCO}_3$  y (6)Tepetates ti con  $\text{CaCO}_3$ .

### **3.5.5. Características físicas y mineralógicas**

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de un estudio detallado sobre la caracterización física y mineralógica de los tepetates representativos de las cuencas de México y Tlaxcala, realizado por Peña y Zebrowski (1992). Los valores de densidad aparente indican que son materiales muy compactados y masivos, lo cual ocasiona una limitada permeabilidad y aireación. Estas características físicas son dos limitantes determinantes para el establecimiento de cultivos. La porosidad total es de cerca del 50%; sin embargo, corresponde a microporos, y prácticamente carece de macroporos, por lo cual la infiltración de agua es limitada. Pero estos materiales también tienen la característica de ser friables, y algunos de ellos reblandecen en la época de lluvias (tepetates de tipo frágipan), por lo cual es posible efectuar una roturación mecánica y generar un sustrato cultivable. Los tepetates con carbonatos de calcio, regularmente no se reblandecen con la humedad, por lo cual son extremadamente duros (tepetates tipo duripan) y difícilmente podrían roturarse para su habilitación agrícola.

**Cuadro 1. Características físicas de los tepetates.**

Tipo de tepetate	Sitio	Da g cm <sup>-3</sup>	Dr g cm <sup>-3</sup>	pF 2.5 (t)	pF 2.5 (b)	pF 4.2 (t)	pF 4.2 (b)	CC (t)	pmp (b)	Pt %	Pb %	Pm %	$\frac{Pm}{Pb}$ Pb	HBS %
t3	P30	1.51	2.97	27.4	26.5	18.1	24.7	9.3	1.8	43	44.5	40.0	0.90	29.5
	P26	1.16	2.34	43.8	46.4	36.8	44.1	10.0	4.3	56	63.8	56.1	0.88	55.0
sin	P27	1.36	2.27	38.4	33.9	28.9	32.4	9.5	1.5	49	52.6	46.1	0.87	38.7
CaCO <sub>3</sub>	P13	1.23	2.28	44.6	†	33.3	†	11.3	†	54	†	†	†	†
	p35	1.35	2.34	40.1	38.1	28.8	†	11.3	†	49	55.2	51.4	0.93	40.9
<b>Media</b>		<b>1.32</b>	<b>2.44</b>	<b>38.8</b>	<b>36.2</b>	<b>29.2</b>	<b>33.7</b>	<b>10.3</b>	<b>2.5</b>	<b>50.2</b>	<b>54.0</b>	<b>48.4</b>	<b>0.89</b>	<b>41.0</b>
t3	K12	1.53	2.43	24.0	20.8	13.2	20.6	10.2	6.2	42	36.9	31.8	0.86	24.1
con	K7	1.35	2.33	25.8	25.0	20.9	22.3	4.9	2.7	49	42.3	33.8	0.80	31.3
CaCO <sub>3</sub>	P28	1.55	2.28	24.1	21.1	17.4	18.6	6.7	2.5	41	35.0	32.7	0.93	22.6
<b>Media</b>		<b>1.47</b>	<b>2.34</b>	<b>24.6</b>	<b>22.3</b>	<b>17.2</b>	<b>20.5</b>	<b>7.3</b>	<b>3.8</b>	<b>44</b>	<b>38.1</b>	<b>32.8</b>	<b>86.3</b>	<b>26.0</b>
t2	P30	1.39	2.39	30.8	30.6	19.3	24.6	11.5	6.0	48	53.1	42.5	0.80	38.2
sin	P33	1.47	2.41	31.3	27.6	19.5	25.4	11.8	2.2	45	54.2	40.6	0.75	36.9
CaCO <sub>3</sub>	P35	1.47	2.36	28.3	24.9	17.9	†	10.4	†	45	44.4	36.6	0.82	30.2
<b>Media</b>		<b>1.44</b>	<b>2.38</b>	<b>30.1</b>	<b>27.7</b>	<b>18.9</b>	<b>25.0</b>	<b>11.2</b>	<b>4.1</b>	<b>46</b>	<b>50.6</b>	<b>39.9</b>	<b>79</b>	<b>35.1</b>
t2 con CaCO <sub>3</sub>	A13	1.45	2.27	32.2	†	23.6	20.2	8.6	†	45	32.0	†	†	21.8
ti	K15	1.43	2.27	24.7	25.8	18.8	20.4	5.9	5.4	46	38.6	36.9	0.96	27.0

t: humedad determinada sobre tierra tamizada, b: humedad determinada sobre bloques cúbicos de tepetate, Da: densidad aparente, Dr: densidad real, Pt: porosidad total calculada ( $Pt=1 Da/Dr$ ,  $Dr=2.65$ ), en muestras tamizadas, Pb: porosidad total media a partir de la Da y del contenido de agua en los bloques saturados, Pm: microporosidad ( $Da \times CC$  de bloques cúbicos), pF: retención de humedad, CC: Capacidad de campo, HBS: humedad de bloques saturados, †: no registrado.

### 3.5.6. Características químicas

En el Cuadro 2 se presenta un estudio de caracterización química de los tepetates representativos de las cuencas de México y Tlaxcala, realizado por Etchevers *et al.* (1992a). Se observó que todos los tepetates, independientemente de su clasificación, presentaron CaCO<sub>3</sub> uniformemente distribuido en la masa o en forma laminar. Éste varió desde 1.4 hasta 14.2%, dependiendo de la naturaleza del material parental y de las condiciones del clima en que evolucionaron. Estas diferencias explican parcialmente la dureza de estos materiales y las deficiencias en la disponibilidad de micronutrientes para las plantas. El pH fue alcalino, los porcentajes de carbono, nitrógeno y fósforo fueron extremadamente bajos, indicando que en el pasado estos materiales no fueron colonizados por vegetales y que la actividad biológica ha sido muy reducida debido a las bajas poblaciones de microorganismos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es muy baja en todos los tipos de tepetates. Esto se explica porque la matriz mineralógica de estos materiales está constituida por vidrio volcánico y materiales amorfos, es decir, materiales poco intemperizados. Este es un aspecto crítico en la nutrición de las plantas.

**Cuadro 2. Características químicas los tepetates.**

Sitio	Toba	CaCO <sub>3</sub> %	pH <sup>†</sup> agua	pH <sup>‡</sup> KCl 1N	C %	N %	P olsen ppm	Ca	Mg	K	Na	CIC	PSB %
								meq/100g					
P30	t3	2.2	8.1	6.7	0.24	0.07	T	6.7	6.4	1.7	0.9	17.5	85
P26	t3	2.5	7.6	6.3	0.16	0.02	T	12.1	7.9	2.6	0.4	39.9	58
P27	t3	2.5	7.6	6.6	0.12	0.02	T	12.1	9.9	1.9	0.7	22.5	100
P13	t3	2.5	7.9	6.8	0.08	0.02	T	15.7	10.0	2.4	2.7	39.4	78
P35	t3	2.1	7.6	6.8	0.08	0.02	T	14.6	9.5	3.4	3.9	40.6	77
<b>media</b>		<b>2.4</b>	<b>7.8</b>	<b>6.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.03</b>		<b>12.2</b>	<b>8.7</b>	<b>2.4</b>	<b>1.7</b>	<b>32.0</b>	<b>80</b>
K-12	t3	1.9	8.1	7.2	0.15	0.02	T	11.4	8.2	1.5	1.8	25.0	100
K-7	t3	14.2	8.8	7.4	0.16	0.02	T	45.3	11.9	1.2	1.3	27.6	100
P28	t3	2.0	8.2	6.8	0.12	0.01	T	13.6	6.7	1.5	0.9	25.1	90
<b>media</b>		<b>6.0</b>	<b>8.4</b>	<b>7.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.02</b>		<b>23.4</b>	<b>8.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.3</b>	<b>25.9</b>	<b>97</b>
P30	t2	1.7	7.3	6.4	0.15	0.05	T	8.7	6.3	1.3	1.2	21.3	82
P33	t2	1.4	7.8	6.4	0.20	0.05	T	7.3	6.1	1.0	0.9	17.6	81
P35	t2	1.8	7.4	6.1	0.12	0.03	T	7.4	6.1	1.2	0.6	20.0	75
<b>media</b>		<b>1.6</b>	<b>7.5</b>	<b>6.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0.04</b>		<b>7.7</b>	<b>6.2</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>19.6</b>	<b>79</b>
A-13	t2	4.6	8.3	7.1	0.15	0.03	T	44.5	8.5	2.3	1.3	33.6	100
K-15a	ti	5.5	8.9	7.1	0.36	0.07	T	41.4	10.5	2.6	1.0	26.6	100
K-21	ti	2.5	8.9	7.1	0.08	0.03	T	18.8	5.4	0.6	1.0	24.4	100
K-22	ti	2.4	8.6	7.2	0.20	0.02	T	18.8	4.5	1.0	0.6	17.8	100
<b>media</b>		<b>3.5</b>	<b>8.5</b>	<b>7.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.04</b>		<b>26.3</b>	<b>6.8</b>	<b>1.4</b>	<b>0.9</b>	<b>22.9</b>	<b>100</b>

†: Determinación por método de agua, ‡: Determinación que incluye una solución de cloruro de potasio 1 normal, CIC: capacidad de intercambio catiónico, PSB: porcentaje de saturación de bases, T: no perceptible.

### 3.5.7. Fertilidad de los tepetates

Los principales problemas nutrimentales que tienen las plantas cuando se desarrollan sobre un tepetate recién roturado, se deben principalmente a la carencia de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Estos elementos faltantes son universalmente deficientes en los tepetates de la Sierra Nevada. Su carencia se debe a que en un tepetate virgen la actividad biológica es reducida. Los niveles de carbono orgánico en tepetates sin roturar o recién roturados son muy bajos, desde 0.1 hasta 0.2% (Etchevers *et al.*, 1992 b).

Algunas deficiencias de nutrimentos pueden ser corregidas con adiciones de fertilizantes químicos y orgánicos, sin embargo, Navarro y Zebrowski (1992) informaron que la limitante en la producción agrícola de los tepetates se debe más al poco mejoramiento de las propiedades físicas y el inadecuado manejo agronómico realizado durante el ciclo productivo. Otro factor importante que está estrechamente relacionado con la deficiencia de nutrimentos, es la poca presencia de microorganismos, los cuales se encuentran en poblaciones muy bajas. Álvarez (1992) encontró en tepetates vírgenes  $2.3 \times 10^4$  bacterias,  $11.8 \times 10^3$  actinomicetos y

$6.6 \times 10^1$  hongos. Estas poblaciones son menores, pero pueden ir aumentando después de la roturación y con adición de estiércoles. La importancia de los microorganismos radica en su actividad metabólica al fijar  $\text{CO}_2$ , en la transformación de la materia orgánica a humus y en algunos procesos de nitrificación (Ferrera-Cerrato, 1992).

### **3.5.8. Recomendaciones para su habilitación agrícola**

Los tepetates que han aflorado, después de la pérdida de suelo ocasionada por la erosión hídrica, son incapaces de sostener una cubierta vegetal. Sus condiciones físicas naturales, como la dureza, no permiten la penetración de las raíces de las plantas; la estructura es tal, que el agua difícilmente penetra a su interior y no puede ser almacenada; y su ambiente químico no es adecuado para el desarrollo de las plantas, ya que carecen de nitrógeno y fósforo en cantidades suficientes (Arias, 1992; Werner, 1992; Etchevers *et al.*, 1992a; Báez, 1998). La incorporación de los tepetates a la actividad productiva comienza con la roturación mecánica (acondicionamiento físico) para favorecer la penetración de las raíces de las plantas y la permeabilidad y aireación.

#### **3.5.8.1. Roturación**

La roturación y en determinados casos, la construcción de terrazas es el paso inicial y fundamental en la habilitación de los tepetates tipo fragipán para la agricultura, forestería y actividades pecuarias. Tales prácticas se han realizado desde la época precolombina (Hernández, 1987) y tiene por objetivo permitir la colonización de la capa roturada por las raíces de las plantas, aumentar la capacidad de almacenamiento de agua y su retención por periodos prolongados, lo cual es básico para el establecimiento de cualquier especie vegetal (Báez, 1998). La roturación debe hacerse a aproximadamente 40-45 cm. Se ha observado que roturaciones a mayores profundidades carecen de utilidad, porque el agua caída raramente logra penetrar más allá de este límite (Báez *et al.*, 1997; Prat *et al.*, 1998). Para tal trabajo se prefiere un tractor tipo Caterpillar (D7 o D8) equipado con dos cinceles o *rippers* (Werner, 1992). El trabajo que realiza este implemento es bastante rudo, por lo que

se requiere luego del uso de un arado de disco que suavice la superficie del terreno. Generalmente la forma y pendiente de los terrenos determinan el diseño de la parcela para la futura operatividad de las labores agrícolas. La pendiente final de la parcela roturada debe permitir la máxima infiltración del agua de lluvia caída y el escurrimiento lento en caso de exceso de ésta. Se ha probado que una manera eficiente de realizar la roturación del lecho de tepetate es hacer primero un paso con la maquinaria pesada en una dirección lineal, con espaciamiento de 30 cm entre las líneas penetradas por los cinceles. El segundo paso se hace perpendicular al primero, como si se marcara una cuadrícula. El tiempo de roturación promedio para esta operación, considerando una profundidad media de 40-45 cm, es de 26 hr ha<sup>-1</sup>; pero si se aspira a roturar a una profundidad de 60 cm el tiempo de máquina sube a 68 hr ha<sup>-1</sup>, lo cual encarece innecesariamente el trabajo.

### **3.5.8.2. Construcción de terrazas**

La construcción de terrazas es una alternativa efectiva para controlar la erosión hídrica que puede ocurrir cuando sobrevienen lluvias torrenciales después de la roturación. Las terrazas se pueden construir siguiendo o no las curvas de nivel del terreno (Ruiz, 1979), dejando su superficie con una pequeña pendiente (menor de 6%), aunque en muchas ocasiones no es posible seguir estrictamente esta recomendación. Nuestra experiencia indica que es mejor delimitar las terrazas con bordes que puedan ser construidos con el mismo sustrato roturado o con muros de piedra, de estar disponibles y contribuir a desempedrar el terreno. Para evitar el deterioro de los bordes de las terrazas se recomienda establecer en ellos alguna especie vegetal que ayuden a estabilizarlo y de preferencia una especie que tenga un valor agregado, como árboles frutales, árboles forestales de rápido crecimiento que resistan las condiciones restrictivas que se generan en los bordes (por ejemplo magueyes, nopales, etc.) De no realizarse esta obra de conservación de suelo la terraza se deteriorará rápidamente y se perderá la inversión y el trabajo empleado en su construcción. Después de conformar las terrazas se aconseja dar un paso de rastra para fragmentar los trozos grandes de tepetate que quedan en la superficie. Por último se efectúa la nivelación de la parcela con una niveladora o algún

instrumento local, como tablones, llantas o rastras de rama. De preferencia esta operación debe ser realizada cuando el tepetate roturado tenga una humedad de trabajo de campo.

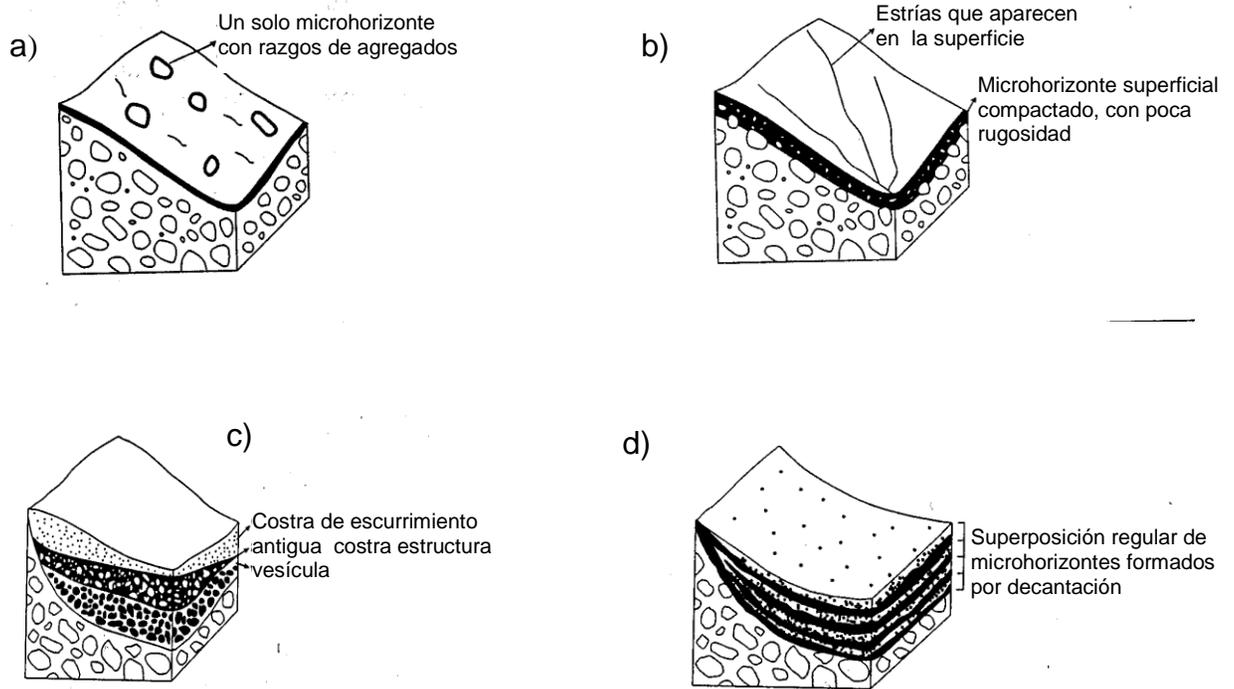
### **3.5.8.3. Control de la erosión**

El material recién roturado es altamente erosionable por acción de las lluvias ya que se encuentra completamente suelto. Por ello la importancia de construir las parcelas y las obras de conservación (bordes altos, pendientes suaves o curvas de nivel, etc.) son fundamentales para reducir al mínimo la erosión hídrica. El escurrimiento y la pérdida de sedimentos implican la posibilidad de que se pierda fertilizante si éstos se hubiesen adicionado, adelgazamiento de la capa roturada, deterioro de la parcela y poco éxito en el establecimiento de cultivos. A este respecto es común apreciar en los Estados de México y Tlaxcala parcelas que se construyeron en el pasado por programas estatales de roturación de tepetates que se encuentran muy deterioradas y abandonadas. El potencial de erosión hídrica de los tepetates roturados es un factor importante que debe ser considerado en la planificación de futuros programas de apoyo para la incorporación agrícola, pecuaria o forestal de estas capas endurecidas, dado que se pone en peligro toda inversión realizada. Se ha determinado que la tasa de erosión en parcelas habilitadas puede reducirse considerablemente ( $0.1$  a  $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) si se realizaran las obras de conservación en las mismas (Prat *et al.*, 1998).

### **3.5.9. Limitantes del sustrato roturado**

Encostrado: La formación de suelo a partir de tepetate roturado implica un cambio drástico en la estructura física de este material. El tepetate fracturado no proporciona condiciones adecuadas para la infiltración de agua de lluvia ni para la necesaria aireación de las raíces de los cultivos, debido justamente a formación de costras en la superficie con las primeras lluvias erosivas. En ciertos casos estas costras pueden limitar o impedir la germinación de semillas como las de cebada y trigo; sin embargo, se ha observado que semillas como las de haba (*Vicia faba*), maíz (*Zea mays*), ayocote (*Phaseolus coccineus*) y veza (*Vicia sativa*) logran romperlas y emerger, aunque con dificultad. Las costras afectan el desarrollo de las plantas a lo largo de su

ciclo de cultivo, así como la intensidad de los escurrimientos y el arrastre de sedimentos. Lauffer *et al.* (1997) describieron cuatro tipos de encostrado que siguen un patrón bien definido (Figura 2).



**Figura 2. Formación de costras en la superficie en tepetates cultivados. a) costra estructural, b) costra de erosión, c) costra de escurrimiento y d) costra de decantación.**

La formación de costras se inicia cuando las gotas impactan sobre la superficie del tepetate tras el laboreo; las partículas finas desagregadas tras el efecto “splash” forman una suspensión que impide la infiltración hídrica. Este encostramiento es más rápido en los tepetates recién habilitados, al tener poca agregación y COS (carbono orgánico del suelo). Primero se forman costras estructurales, a las que les siguen las de erosión, las de escurrimiento y, por último, las de decantación. La energía cinética de las lluvias es el factor principal en la formación y destrucción tanto de las reorganizaciones superficiales, como los agregados en la superficie del terreno. Se ha calculado que en los tepetates  $560 \text{ J m}^{-2}$  de energía cinética acumulada generan la aparición de costras de decantación y escurrimiento que limitan que el agua se

infiltra en los surcos, lo cual provoca la destrucción de surcos y mayor pérdida de suelo por escurrimiento. La incorporación de abonos orgánicos como pajas y estiércoles puede ayudar a contrarrestar el efecto de encostrado. Los cultivos con intensa cobertura vegetal también ayudan a amortiguar la energía cinética de las gotas de lluvia. Las labores de cultivo, como las escardas, rompen las costras y favorecen la permeabilidad del sustrato; pero si el índice de cobertura vegetal es bajo las costras se formarán nuevamente. Es pertinente señalar que una escarda realizada en el tepetate cuando su contenido de humedad es elevado, no destruye completamente la costra y tampoco contribuye a la formación de camellones apropiados; por el contrario, destruye la precaria protección que ofrecían los existentes, ocasionando un aumento en el escurrimiento y la carga de sedimentos. El uso de taludes entre los surcos para disminuir la velocidad de escurrimiento después de lluvias intensas, ofrece protección a la terraza contra el escurrimiento. Sin embargo, en un ciclo muy lluvioso puede ocasionar enfermedades fúngicas a cultivos de leguminosas por el exceso de humedad. Pero en año seco es una excelente alternativa.

La importancia de estudiar las agrupaciones de las partículas del sustrato en la superficie del terreno, así como su dinámica, permite entender los procesos erosivos y definir estrategias para limitarlos.

#### **3.5.10. Déficit nutrimental**

Los tepetates son sustratos naturalmente pobres en nitrógeno, fósforo y carbono orgánico (Etchevers *et al.*, 1992), por lo que, la habilitación de éstos para la actividad productiva debe considerar el subsanar dichas limitaciones. Esto se logra mediante una planificación agronómicamente adecuada de la fertilización en orden a que contengan estos elementos, ya sea inorgánica u orgánica. Sin embargo, la cantidad de abonos orgánicos (estiércol o composta) que habría que aplicar para resolver el problema del déficit de nitrógeno y fósforo (exclusivamente con fuentes de esa naturaleza) es elevada y puede causar problemas de contaminación ambiental. Pero la incorporación de compostas, estiércoles y residuos de cosechas es necesaria para

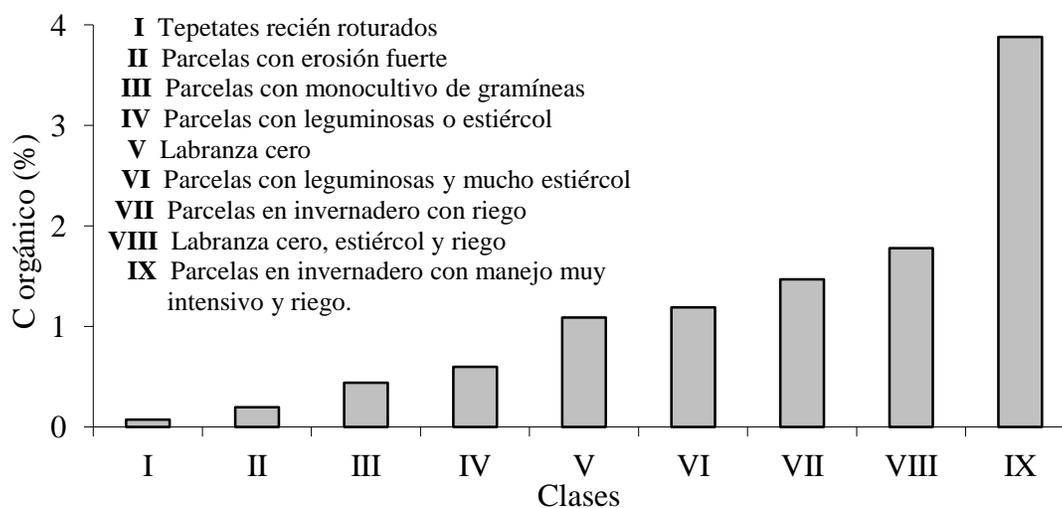
incrementar las fuentes de C en el suelo. Sin abonados orgánicos es difícil lograr que los fragmentos de tepetate evolucionen hacia agregados y formen suelo (Báez *et al.*, 2007b).

La formación de agregados y de la estructura en los tepetates es un proceso que se alcanza sólo a medio plazo, al igual que la acumulación de reservas orgánicas (Báez *et al.*, 2002; Covalada *et al.*, 2007); los autores recién mencionados han observado que el proceso tarda de 10 a 20 años. La calidad de los abonos orgánicos que se adicionen también es importante. Sólo cuando se incorporan compostas y estiércoles de buena calidad (relación C/N 20:1) podría esperarse una disponibilidad inmediata de nitrógeno y fósforo (Báez *et al.*, 1997; Ferrera-Cerrato *et al.*, 1997; Navarro y Flores 1997; Álvarez *et al.*, 2000). En las etapas tempranas de la incorporación de los tepetates a la producción se prefiere el uso de fertilizantes químicos o mezclas de éstos con abonos orgánicos, que suministren rápidamente el requerimiento nutrimental de las plantas en cantidades necesarias para su crecimiento y desarrollo. En conclusión, una mezcla balanceada de ambas fuentes de nutrientes resulta ser la ideal. Los estudios realizados en los tepetates recién habilitados para la producción agrícola, indican que los restantes nutrimentos, así como otras necesidades relacionadas con el ambiente químico requerido para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pueden ser provistos por el sustrato roturado (Etchevers y Brito, 1997). Un factor importante, estrechamente relacionado con la deficiencia de nutrimentos en los tepetates recién roturados, es la escasa presencia de microorganismos, los cuales se encuentran en poblaciones muy bajas. Álvarez (1992) encontró en tepetates no roturados  $2.3 \times 10^4$  bacterias,  $11.8 \times 10^3$  actinomicetos y  $6.57 \times 10^1$  hongos. Estas poblaciones son relativamente bajas comparadas con la de suelos agrícolas, pero se ha observado que pueden aumentar después de la roturación y la adición de estiércoles. La importancia de los microorganismos radica en su actividad metabólica pues permite fijar  $N_2$  y mineralizarlo durante la transformación de la materia orgánica a humus (Ferrera-Cerrato, 1992; Álvarez *et al.*, 2000). La teoría permite señalar que durante los primeros años después de la habilitación, los microorganismos deben competir con las plantas por los pocos nutrimentos

esenciales disponibles en el tepetate recién roturado, principalmente nitrógeno. Es por ello que la fertilización química parece ser imprescindible para asegurar una mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo para los cultivos.

### 3.5.11. Contenido de materia orgánica

El C es otro elemento casi ausente en los tepetates recién roturados. Éste es fundamental para aumentar la fertilidad del sustrato, mejorar sus propiedades físicas, su disponibilidad nutrimental y aumentar su productividad agrícola. El C, contenido en la hojarasca, pajas u otros residuos orgánicos, proporciona energía a los microorganismos, a la fauna y la mesofauna del suelo. Éstos a la vez, son capaces de producir humus y pegamentos orgánicos que interaccionan con la fracción mineral del suelo, formando agregados estables, que son los responsables de proporcionar una estructura adecuada al tepetate roturado. La acumulación de C en los tepetates cultivados depende de la incorporación de biomasa y abonos orgánicos a las parcelas, del manejo de cultivos y del tipo de labranza y control de la erosión. Es muy común en la zona de interés que los agricultores utilicen los esquilmos de las cosecha para la alimentación del ganado, limitando de este modo el ingreso al suelo de la principal fuente de C disponible. La incorporación de, por lo menos, parte de los residuos del cultivo a los tepetates es una práctica agronómica que contribuye a mantener o incrementar el C en los tepetates (Figura 3) (Báez *et al.*, 2002).

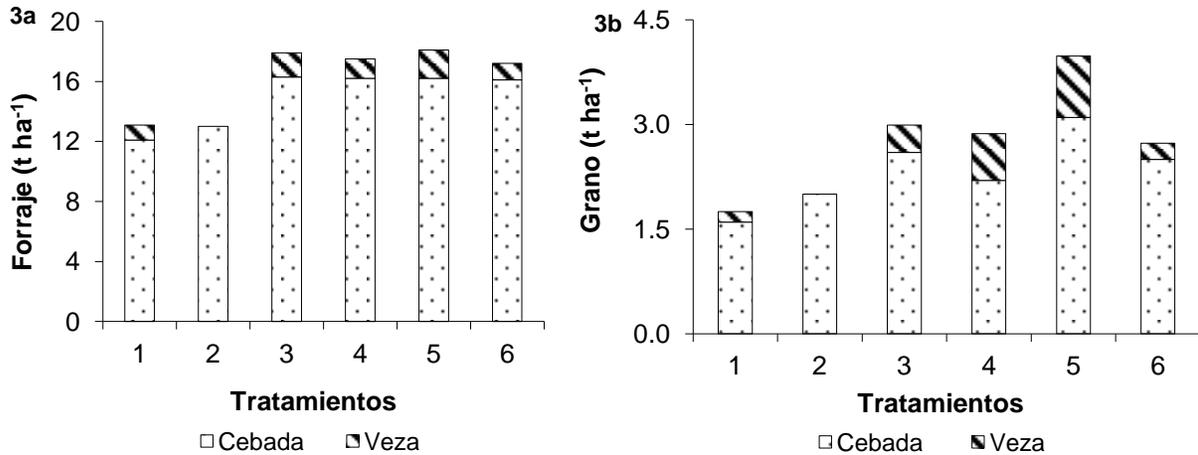


**Figura 3. Concentración de carbono orgánico en tepetates cultivados en diversos sistemas de manejo agronómico.**

### 3.5.12. Manejo de los cultivos

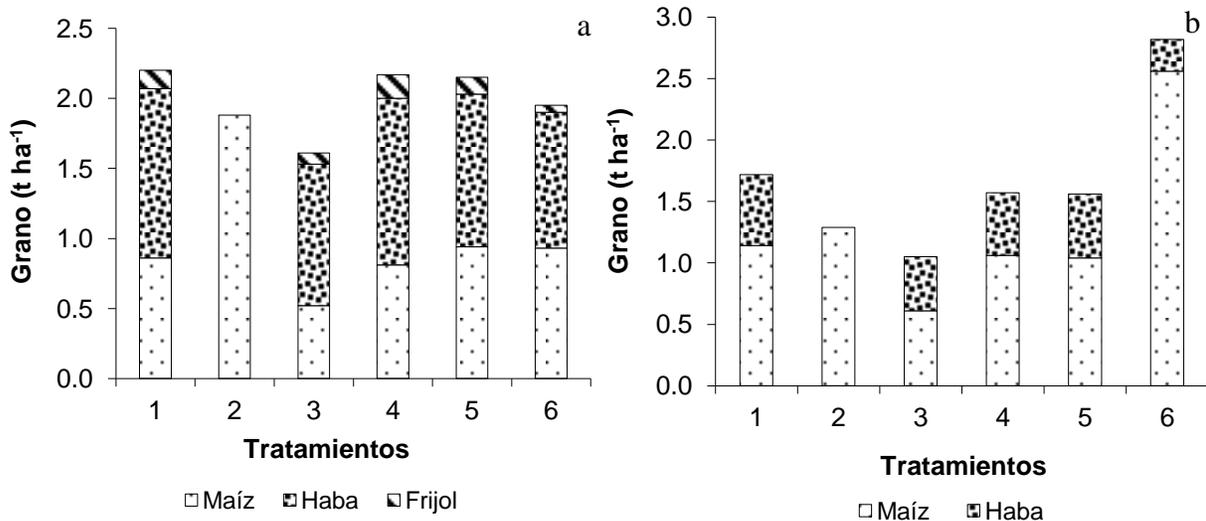
El tepetate habilitado para la agricultura puede ser productivo desde su primer año de cultivo si se consideran obras de conservación de suelo y se efectúa un manejo agronómico adecuado. Considerando las limitantes antes mencionadas, la información recabada de encuestas a agricultores y los resultados de varios experimentos de campo se puede señalar que los cereales de grano pequeño (cebada y trigo) asociados con una leguminosa forrajera veza, (*Vicia spp.*), trébol carretilla, (*Medicago polymorfa*) que aporte nitrógeno al sustrato recién roturado es una buena opción para obtener rendimientos de grano semejante o superiores a lo obtenido en un suelo bajo las mismas condiciones (Márquez et al., 1992; Navarro y Zebrowski, 1992; Báez, 1998). La adición de fertilizantes químicos y orgánicos es absolutamente necesaria; la fórmula 80-60-0 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O por hectárea se ha demostrado que funciona bien, tomando en cuenta el rendimiento máximo alcanzable para cebada y trigo en condiciones de temporal (Galvis et al., 1992). Por ejemplo, en parcelas de producción, con la asociación cebada+veza (100+33 kg de semilla ha<sup>-1</sup> respectivamente) se ha logrado producir más de 18 t ha<sup>-1</sup> de forraje fresco y más de 3 t ha<sup>-1</sup> de grano de cebada en condiciones de temporal, con un rendimiento 20% mayor a lo obtenido en el suelo de referencia (Figura 4) (Báez et al., 1997).

Especies como haba y ayocote en monocultivo han mostrado buenos resultados en tepetates cultivados por primera vez; también con veza se puede asegurar una buena producción de forraje. La incorporación de residuos de cosecha a las parcelas en los años subsecuentes al primer cultivo, es importante para mejorar paulatinamente la fertilidad del sustrato, como ya se ha señalado anteriormente. Además, representa la fuente de carbono más barata disponible para el agricultor, ya que la adición de estiércoles implica un costo adicional al proceso de producción por el transporte y la distribución e incorporación en la parcela. Por otra parte, no siempre este material se encuentra en cantidades suficientes para abastecer la demanda (Prat y Báez, 1998).



**Figura 4 (a y b). Rendimiento de forraje y grano respectivamente de la asociación cebada y veza en un tepetate cultivado por primera ocasión. Tratamientos: (1) Roturación 60 cm + cebada-veza, (2) Roturación 45 cm + monocultivo de cebada, (3) Roturación 45 cm + cebada-veza + estiércol (4) Roturación doble + cebada-veza, (5) Roturación 45 cm + cebada-veza y (6) Suelo + cebada-veza.**

En un segundo año de cultivo el substrato habilitado es capaz de generar rendimientos aceptables de maíz, cultivo que es muy tradicional en los Estados de México y Tlaxcala. En pruebas experimentales (parcelas de 16 m<sup>2</sup>), donde se incorporaron los esquilmos de la cosecha anterior, el maíz asociado con frijol, fertilizado con 120-60-0 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (sin K) por hectárea produjeron hasta 3.5 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz durante su segundo año de cultivo (Benítez y Navarro, 1997); rendimientos comparables con los obtenidos por los productores en suelos agrícolas. Se han realizado también pruebas en parcelas de producción (más de 1000 m<sup>2</sup>) bajo condiciones de monocultivo y maíz asociado con frijol y haba (por este orden), con una separación de 33 cm entre matas de cada especie respectivamente, tres plantas por mata y una dosis de fertilización de 70- 60-0 kg. De este modo se han obtenido rendimientos de cerca de 2 t ha<sup>-1</sup> maíz en monocultivo y cerca de 2.2 t ha<sup>-1</sup> de maíz-frijol-haba en asociación (Figura 5a). De manera global se puede apreciar la producción de grano en los sistemas asociados (maíz+haba+frijol o maíz+haba) puede ser de 30 a 50% mayor que cuando se práctica el monocultivo.



**Figura 5 (a y b).** Rendimiento de grano de maíz, haba y frijol en un tepetate durante el segundo y tercer ciclo respectivamente. Tratamientos: (1) Roturación 60 cm + maíz-haba-frijol (2), Roturación 45 cm + monocultivo de maíz, (3) Roturación 45 cm + maíz-haba-frijol, (4) Roturación doble + maíz-haba-frijol, (5) Roturación 45 cm + maíz-haba-frijol y (6) Suelo + maíz-haba-frijol.

De manera general, el rendimiento de maíz puede calificarse regular y el de haba excelente. No se puede considerar realmente al cultivo de frijol como una mala opción, ya que sus bajos rendimientos tienen su explicación en el daño mecánico que sufre este cultivo durante las labores agrícolas. El establecimiento de dos leguminosas y una gramínea en una parcela asegura, por una parte, suministro de nitrógeno para el ciclo de cultivo pero, por otra, puede dificultar la operatividad de algunas labores agrícola, como de escarda principalmente. Para este caso, considerando el rendimiento total de grano, se puede apreciar que la asociación de cultivos tiene una mayor productividad y utilidad, pues el haba y frijol tienen, por lo general, un mejor precio que el maíz en el mercado.

Para un tercer ciclo de cultivo en el tepetate habilitado, en las mismas parcelas de producción, se utilizaron solamente dos especies: maíz y haba sembrados a una distancia entre matas de 40 cm. El rendimiento de maíz, en los tratamientos con asociación, aumentó de manera general 10%, respecto al ciclo anterior (Figura 5b). Sin embargo, el rendimiento de haba, de manera global, disminuyó a menos de la mitad respecto al ciclo anterior. Esto se explica porque el cultivo fue afectado por el

sombreado del maíz y el exceso de humedad. El seguimiento agronómico de las parcelas que se han señalado, se realizó hasta el cuarto ciclo de cultivo. Los rendimientos de maíz en monocultivo fueron de 2.5 t ha<sup>-1</sup> y la asociación de maíz-haba de 2.5 y 0.5 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. Se ha reportado que la producción de maíz en tepetates, después de 4 años de cultivo, puede ser mayor de 3.5 t ha<sup>-1</sup> (Navarro, 1998).

### **3.5.13. Limitantes climáticas**

A la altitud donde se ubican los tepetates en el paisaje (2300 a 3000 m), las condiciones climáticas son las que influyen mayormente sobre la producción, ya que las propias limitantes físicas, químicas y biológicas del sustrato cultivado pueden ser controladas. El volumen y distribución de las lluvias a lo largo de un ciclo de cultivo son, generalmente, muy irregulares; la presencia ocasional de granizadas, de líneas de convergencia que ocasionan vientos fuertes y acame en los cultivos y los frentes fríos que ocasionan heladas tempranas o tardías son los principales factores climáticos que influyen sobre la producción agrícola de los Estados de México y Tlaxcala. Su efecto, en algún momento determinado, puede tener una mayor influencia sobre la producción agrícola que las mismas limitantes naturales de los tepetates que se han mencionado anteriormente. Los rendimientos máximos alcanzables para cultivos como el maíz dependen en parte de las fechas de siembra; sin embargo, éstas son estrictamente determinadas por el inicio de la temporada de lluvias. La sequía estival, el exceso de lluvia, las temperaturas extremas son factores que no se pueden controlar.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Sitio experimental**

El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano de 1995 en terrenos comunales de San Miguel Tlaixpan, Estado de México, zona oriente del estado de México. Se localiza a 10 km de la ciudad de Texcoco (Figura 6). Este lugar limita al norte con La Purificación, al sur con San Pablo Ixayoc, al este con la comunidad de Santa Catarina del Monte y al oeste con el Molino de las Flores. El sitio se encuentra ubicado entre 98° 47' 55" Longitud Oeste y 19° 29' 53" Latitud Norte, a una altitud de 2555 m. En términos de geomorfología, el sitio de estudio se encuentra ubicado al piedemonte con pendientes suaves, pero con presencia de cañadas.

### **4.2. Clima**

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1984), este sitio corresponde a la parte media de la ladera oriente de la cuenca de México, con clima C(Wo)(w)b(i'), es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anuales es 14.7 °C, y su régimen es isotérmico. La precipitación media mensual es de 620 mm, la cual se distribuye irregularmente. Aproximadamente 90% de las lluvias caen de mayo a octubre. Los registros de precipitación que se efectuaron de 1993 a 1996, exactamente en la zona de estudio, mostraron que la precipitación anual varió de 420 mm a 794 mm. El porcentaje de lluvias invernales fue inferior al 5% del total anual.

### **4.3. Tipos de suelo del sitio experimental**

En el sitio experimental se encuentra una zona con afloramiento de tepetate, que bajo la clasificación de la FAO-UNESCO se denomina como litosol-regosol éutrico, que alude a zonas completamente erosionadas. El lecho endurecido es conocido localmente como tepetate, toba volcánica endurecida por procesos geológicos y pedológicos, con presencia de cuarzo, feldespatos y vidrios volcánicos. Su textura es migajón-arenosa o arcillosa, con estructura columnar fuertemente desarrollada, que

al romperse origina bloques gruesos extremadamente duros en estado seco y friables en estado húmedo, muy parecido a los frágipanes (Ortiz y Cuanalo, 1977).

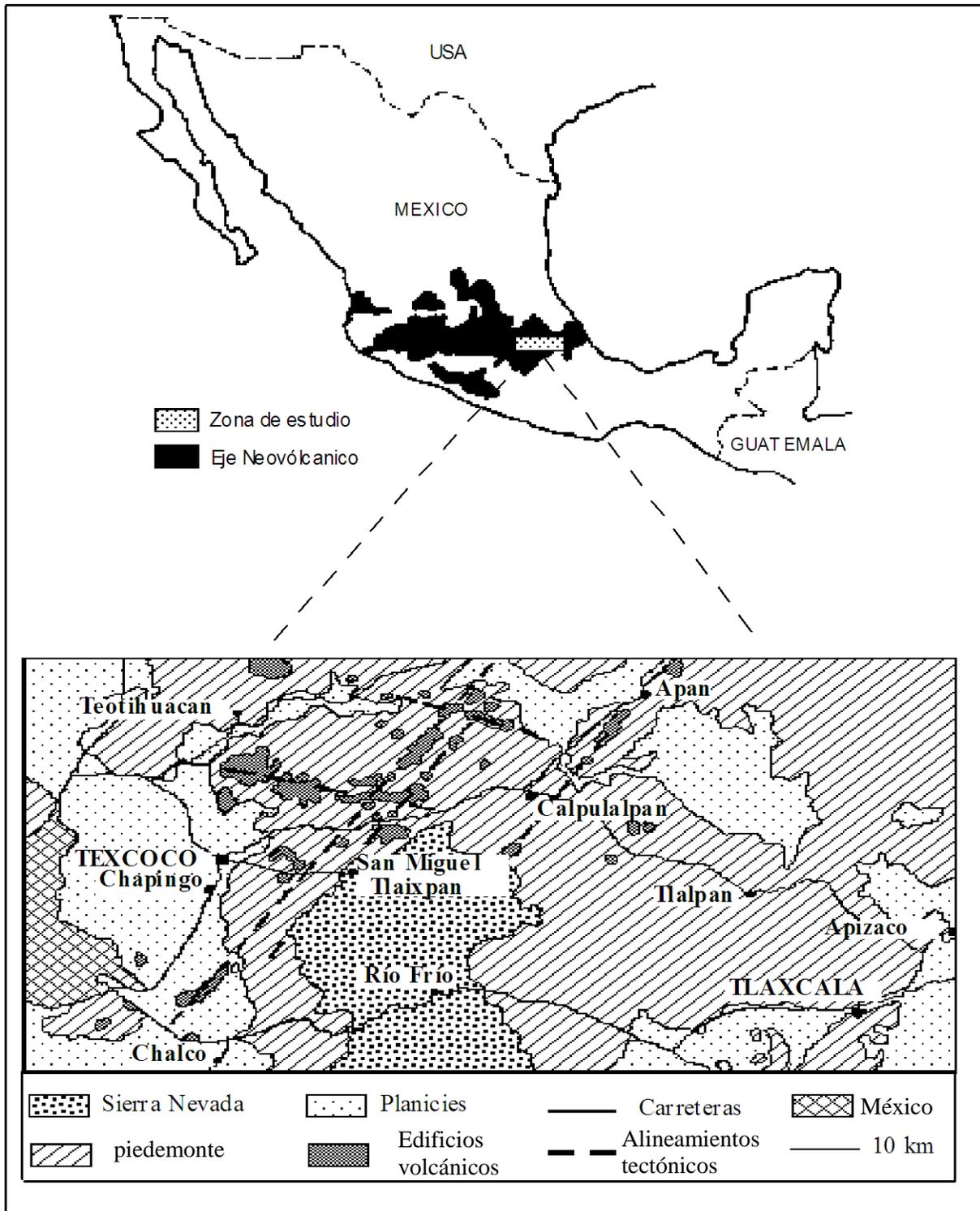


Figura 6. Localización del área de estudio. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.

#### 4.4. Tipo de tepetates

El tepetate T3, pardo amarillo, descrito habitualmente como de color café, (10YR6/4) al estado seco. Su matriz mineral está constituida por vidrio volcánico, materiales amorfos y arcillas amorfas y del tipo aloisita (Hidalgo, *et al.* 2010) Después del trabajo de roturación se determinó en laboratorio su contenido de arena limo y arcilla, las cuales se encontraron en las siguientes proporciones: 52.8, 15.7 y 31.5%, respectivamente. Su clase textural correspondió a un sustrato arcillo-arenoso (Báez *et al.*, 2007b).

En la zona de estudio existe una fuerte erosión que da lugar a la formación de cárcavas. Se observan montículos de 3 a más de 5 m de altura, que muestran el nivel original del suelo. Debajo de éstos se observa afloramiento de tepetate blanco, denominado como T2 (Peña y Zebrowski, 1993). Por encima de éste se encuentra capas de tepetate de color café, denominado como T3, que se encuentra en mayor abundancia, y el cual es utilizado en éste estudio.

Después del trabajo de roturación se determinó en laboratorio su contenido de arena limo y arcilla, las cuales se encontraron en las siguientes proporciones: 52.8, 15.7 y 31.5%, respectivamente. Su clase textural correspondió a un sustrato arcillo-arenoso según la clasificación de la USDA (1999). Este tepetate en su condición natural, de lecho endurecido, es masivo con densidad real: 2.48 unidades y densidad aparente: 1.66, unidades muy compactado, con resistencia mecánica a la penetración de 51 kg/cm<sup>2</sup>. Su capacidad de retención de agua es débil, sin embargo, al estado húmedo se disgrega, lo que le confiere las características de un fragipán. Después del trabajo de roturación la densidad aparente bajo a 1.1, con lo cual se favoreció la infiltración de agua y el desarrollo de raíces y establecimiento de plantas.

El pH fue ligeramente alcalino, la cantidad de bases intercambiables fue elevada, y el complejo absorbente fue saturado, principalmente por Ca<sup>++</sup>. Además. El contenido

de C, N y P se encontró sólo en trazas, por lo cual es necesario adicionarlos en forma de abonos químicos y orgánicos.

#### **4.5. Preparación del terreno**

**Chaponeo.** Se cortó y trituró con una chaponeadora mecánica, el material vegetal de la cosecha anterior de maíz y haba que se encontraba de pie en las terrazas T4, T6, y T7; para facilitar la incorporación de las pajas al terreno. En T6b las pajas de la cosecha anterior fueron retiradas del terreno por segundo año consecutivo.

**Subsoleo** En la terraza T7 se hizo un subsoleo a 60 cm de profundidad, debido a que el terreno se encontraba muy compactado y en años anteriores se presentaron problemas de infiltración y pudrición de plantas.

**Conformación de las terrazas.** Se construyeron una serie de terrazas delimitadas por bordos del mismo tepetate roturado. El tamaño de las mismas se determinó de acuerdo a las dimensiones y la forma del área del lecho de tepetate que se roturó. La profundidad promedio de roturación fue de 45 a 50 cm.

**Barbecho, rastra y nivelación.** Se barbechó con un arado de discos reversibles, calibrado para penetrar a 40 cm de profundidad. Se hizo un paso de rastra para romper los terrones más grandes y se niveló con una cuchilla.

**Surcado.** Se construyeron surcos de 80 cm de ancho por el largo de las terrazas. Debido a que las dimensiones de las éstas variaron en función de la forma y dimensiones del lecho de tepetate roturado, el número de surcos por terraza también fue diferente. En el caso de las terrazas consideradas en el presente estudio el número de surcos fue en T4=24, T6=28, T6b=28 y T7=41. En la Figura 8 se presenta una vista aérea panorámica de las terrazas de estudio.



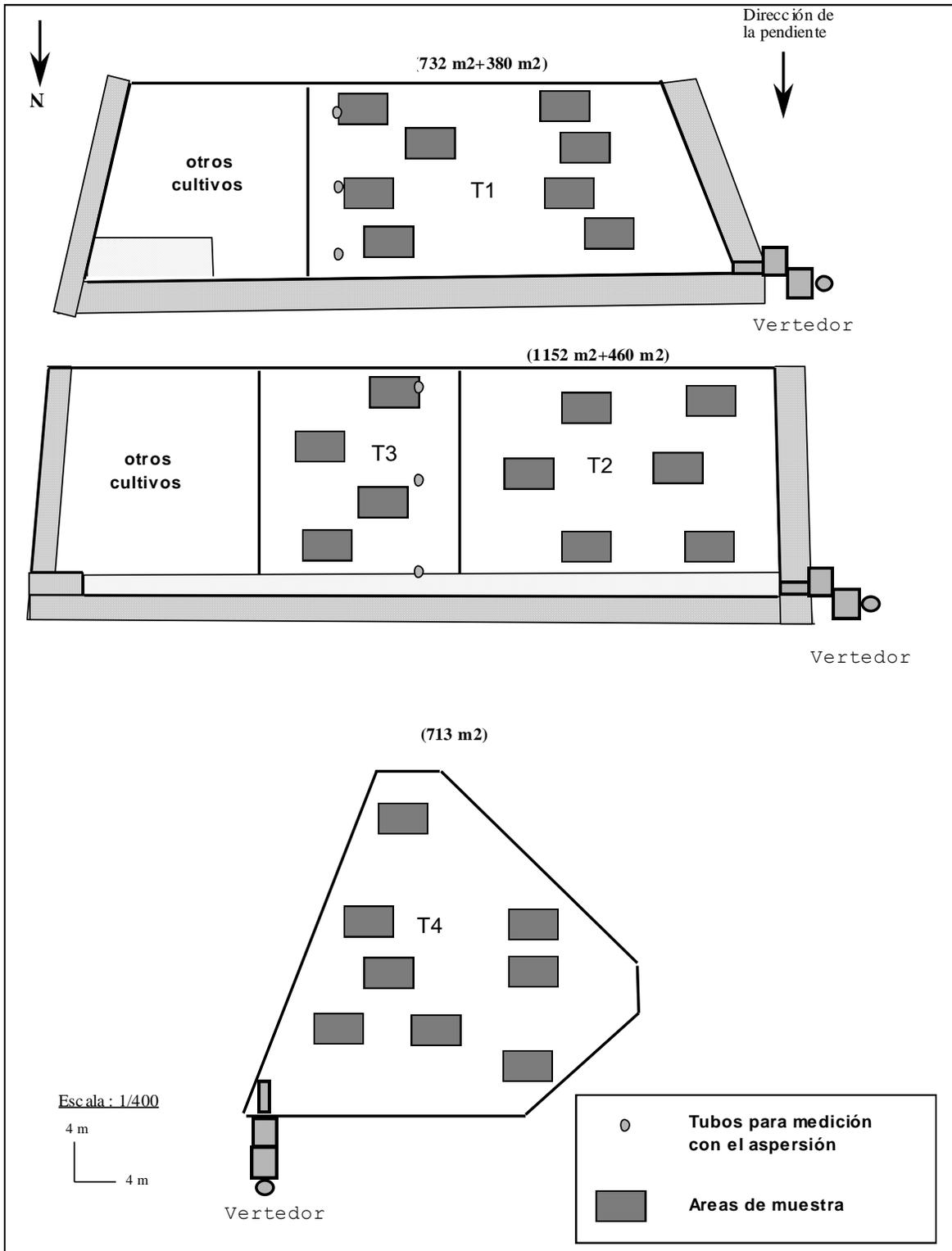
**Figura 7. Vista aérea panorámica de las parcelas de estudio. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

#### **4.6 Registro de precipitación pluvial**

Se midió la precipitación pluvial diaria a lo largo del año, mediante tres pluviómetros distribuidos estratégicamente en la zona de estudio. Después de cada evento de lluvia se registró el volumen de lluvia utilizando una regla graduada y se calculó el valor promedio de los tres pluviómetros.

#### **4.7. Descripción de las parcelas experimentales**

Las parcelas de tepetate empleadas en el presente ensayo fueron previamente acondicionadas para la producción agrícola mediante roturación mecánica con un Caterpillar D7, la construcción de terrazas de banco y obras de conservación de suelo, y la especificación de sus dimensiones se presentan en la Figura 8. El tipo de tepetate, según la clasificación propuesta por Quantin *et al.* (1993), correspondió al tipo t3 sin carbonatos de calcio. Durante el primer año de cultivo se sembró la asociación cebada-veza. Durante el segundo año de cultivo se sembró la asociación maíz-haba-frijol. Para el tercer año de cultivo, que corresponde al presente experimento, la asociación maíz-haba. El proceso de acondicionamiento y habilitación de las parcelas de estudio para la producción agrícola se ilustra en la Figura 9.

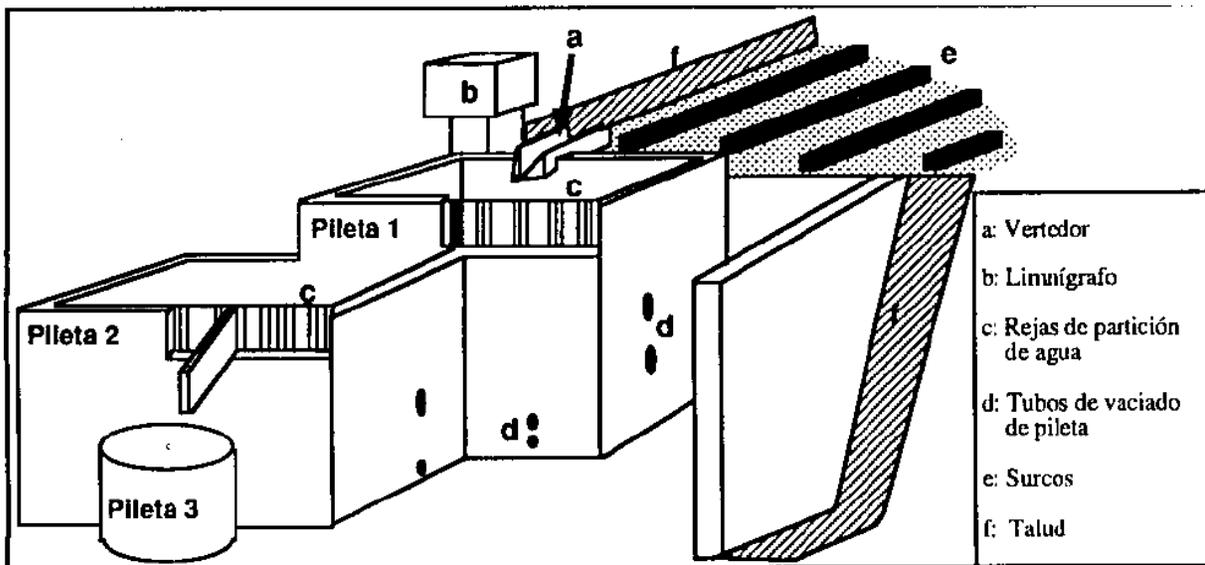


**Figura 8. Croquis de las parcelas experimentales. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**



**Figura 9. Proceso de la incorporación agrícola de los tepalcates de los Estados de México y Tlaxcala.**

Cabe mencionar que además del seguimiento agronómico se efectuaron estudios de erosión e hidrodinámica. Se instalaron, en la salida de cada terraza, un equipo para medir la erosión y escurrimiento después de cada evento de lluvia (Figura 10).



**Figura 10. Equipo para medir la intensidad y volumen de escurrimiento y la cantidad de sedimentos arrastrados después de cada evento de lluvia.**

#### 4.7.1 Los tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos con ocho repeticiones por tratamiento (Cuadro 3.). El experimento se estableció en tres parcelas de tepetate tipo t3, habilitado para la producción agrícola y una parcela de suelo clasificado como Faeozem, que se encontraba aledaña a las parcelas experimentales de tepetate. Dicha parcela correspondió al tratamiento testigo.

**Cuadro 3. Descripción de los tratamientos evaluados. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Sustrato	Descripción	Maíz + Haba semilla kg ha <sup>-1</sup>	Fertilización N-P-K	Rastrojo	Estiércol t ha <sup>-1</sup>
T1	Tepetate	3er año de cultivo	34.5 + 11.5	00-00-00	I	7.7
T2	"	"	"	70-60-00	I	0
T3	"	"	"	70-60-00	S/I	0
T4	Suelo	Faeozem	"	70-60-00	I	0

#### 4.7.2. Diseño experimental

Las unidades experimentales, donde se hicieron los muestreos para evaluar los componentes de rendimiento, tuvieron una dimensión de 4 surcos de ancho por 5 m de largo. Para el análisis estadístico se empleó un diseño experimental completamente aleatorio. El modelo estadístico se presenta a continuación:

$$y_{ij} = \mu_i + \tau_j + e_{ij}$$

$y_{ij}$  = Valor de la característica de estudio sobre la unidad experimental

$\mu_i$  = efecto de la media del  $i$  – ésimo tratamiento

$\tau_j$  = efecto del  $j$  – ésimo tratamiento

$e_{ij}$  = efecto del error experimental

#### 4.7.3. Variables de estudio para el cultivo de haba

Para evaluar y estudiar la respuesta de los tratamientos al desarrollo fenológico del cultivo y la producción de grano y materia se evaluaron las siguientes variables agronómicas:

**Días al 50% de floración en haba.** Se contabilizó el número de plantas que emitieron flores en cada área de muestra. Para su evaluación se consideró el número de días a partir de la emergencia de las plantas.

**Número de plantas, tallos y amacollamiento en haba.** Se estimó la población de plantas por unidad de superficie, el número de tallos emitidos por plantas y la relación que hubo entre ambas. A esta última se le denominó amacollamiento.

**Altura de planta.** Se midió la altura de 20 plantas de haba por área de muestra. Ésta se consideró a partir de la base del suelo hasta el ápice terminal del tallo.

**Número de vainas m<sup>-2</sup>.** Se contabilizó el número total de vainas por planta y se estimó por unidad de superficie.

**Rendimiento de grano.** Se determinó la humedad de grano mediante el método gravimétrico y se ajustó el peso de las muestras al 14% de humedad. Se estimó su peso en ton ha<sup>-1</sup>.

**Biomasa aérea.** Se pesó toda la parte aérea de las plantas y se estimó su peso, a partir de las muestras, por unidad de superficie.

**Índice de cosecha.** Es la relación que hubo entre el rendimiento económico (rendimiento de grano) y el rendimiento biológico (biomasa aérea).

#### **4.7.4. Variables de estudio para el cultivo de maíz**

Para evaluar y estudiar la respuesta de los tratamientos al desarrollo fenológico del cultivo y la producción de grano y materia se evaluaron las siguientes variables agronómicas:

**Días al 50% de floración masculina y femenina en maíz.** La floración masculina se consideró a partir de que las plantas que emitieron la espiga emascularon (soltaron el polen). La floración femenina se contabilizó a partir de que las plantas emitieron los

primeros estigmas. El conteo se efectuó en las áreas de muestreo en una densidad de plantas determinada.

**Número de plantas m<sup>-2</sup>.** Se contabilizó el número de plantas por unidad de muestreo y se estimó en densidad de población m<sup>-2</sup>.

**Altura de planta.** Se midió la altura de 20 plantas por área de muestra. Ésta se consideró a partir de la base del suelo hasta la punta de la espiga.

**Número de mazorcas m<sup>-2</sup>.** Se contabilizó el número de mazorcas por muestra y se estimó por unidad de superficie.

**Rendimiento de grano.** Se determinó la humedad de grano mediante el método gravimétrico y se ajustó el peso de las muestras al 14% de humedad. Se estimó su peso en t ha<sup>-1</sup>.

**Biomasa aérea.** Se pesó toda la parte aérea de las plantas y se estimó su peso, a partir de las muestras, por unidad de superficie.

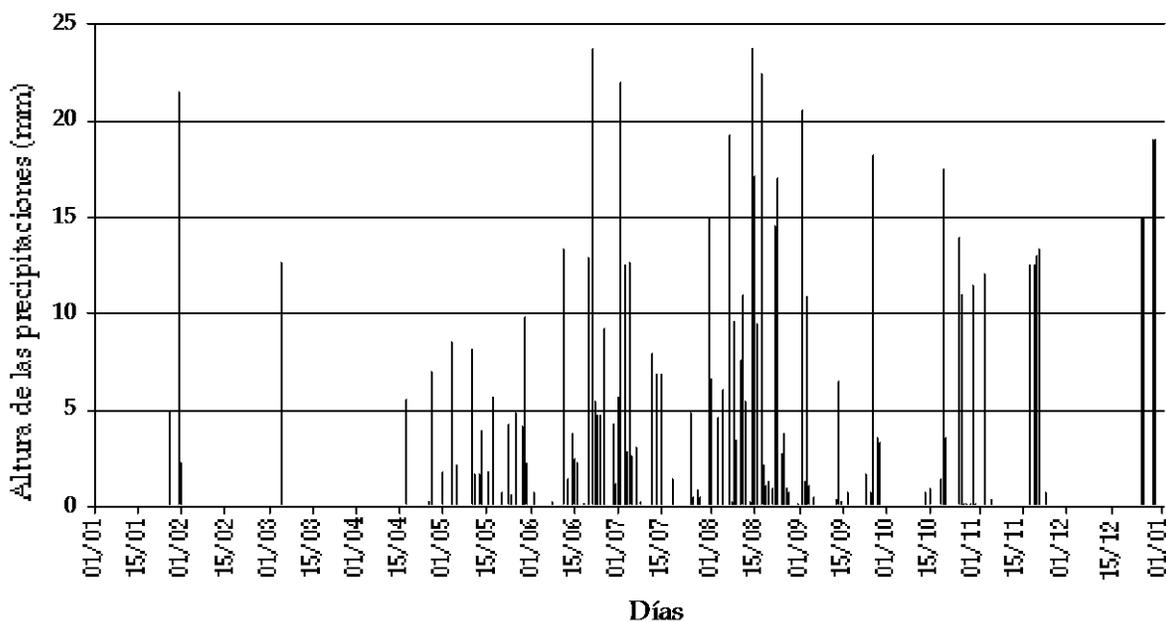
**Índice de cosecha.** Es la relación que hubo entre el rendimiento económico (rendimiento de grano) y el rendimiento biológico (biomasa aérea).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Variables climáticas

#### 5.1.1. Precipitación

El volumen total de lluvia que se registró durante 1995, año en que se hizo la investigación, fue de 768 mm, con una distribución irregular. De acuerdo a la precipitación media anual de 620 mm, que caracteriza la zona, el año fue lluvioso. Del total de precipitación, 190 mm cayeron en enero, marzo, abril, noviembre y diciembre, es decir, fuera del ciclo agrícola. Por lo tanto, el cultivo recibió alrededor de 580 mm de lluvia (Figura 9), suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Sin embargo la distribución lluvias, dentro del ciclo de cultivo, fueron muy irregulares lo que afectó el desarrollo de los cultivos.



**Figura 11. Precipitación anual acumulada cada 10 días durante el año de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

En la época de siembra se presentó un pequeño período de sequía que afectó la emergencia de las plantas. La siembra se efectuó en mayo; sin embargo, la irregularidad de las lluvias provocó un atraso en el desarrollo de los cultivos. Durante

el mes de julio, que frecuentemente corresponde al mes más lluvioso, apenas se registraron 85.2 mm, con 17 días de lluvia, de los cuales solamente 4 eventos fueron mayores de 10 mm. Se presenta otro período seco en el mes de septiembre, en el cual durante 22 días solamente llovieron 13 mm, distribuidos en 7 eventos de lluvia. En los meses de noviembre y diciembre cayeron más de 60 mm, lo que no ocurre regularmente en esta zona. Las primeras heladas se regostaron el 11 y 12 de septiembre, cuando el grano de maíz se encontraba en estado fenológico masoso lechoso. Lo anterior provocó una disminución en el potencial de rendimiento.

## **5.2. Variables agronómicas en haba**

**Días al 50% de floración en haba.** No hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la variable días a floración para el cultivo de haba; sin embargo, en el tratamiento 3 (T3), la floración fue, en promedio, 19% más anticipada respecto a los demás tratamientos. El tratamiento 4 (T4), correspondiente al tratamiento testigo, que tuvo el valor más tardío en la floración, las plantas de haba tuvieron un desarrollo raquítico, debido a la susceptibilidad que tuvieron a las enfermedades fungosas. Lo anterior debido al exceso de humedad que imperó durante la temporada de lluvias. El suelo de textura arcillosa en T4, con alrededor de 50% de partículas  $< 2$  micras, tiene una alta capacidad de retención de humedad, aunado a un mayor desarrollo del cultivo de maíz, el cual proporcionó un mayor sombreado al cultivo de haba respecto a los tratamientos con tepetate, contribuyó a agudizar dicha problemática. Lo anterior afectó significativamente el desarrollo del cultivo de haba, especialmente en este tratamiento. Cabe mencionar que uno de los propósitos de haber establecido este cultivo en asociación con maíz, además de la producción de grano, fue promover la fijación biológica de nitrógeno en el suelo por parte de la leguminosa, lo cual asegura un suministro complementario de este macronutriente para la gramínea. En estos tepetates cultivados, con escaso contenido de materia orgánica y una pobre estructura física, es necesaria la implementación de prácticas agronómicas que conlleven al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos

substratos roturados, para asegurar una buena producción agrícola (Báez *et. al.*, 2007a).

**Número de plantas, tallos y amacollamiento.** La variable número de plantas  $m^{-2}$  fue semejante en todos los tratamientos ( $P>0.05$ ), lo que muestra la homogeneidad de la siembra, la cual se efectuó de manera manual, pero con mucha precisión ya que se utilizó una cuerda marcada. Sin embargo, la variable número de tallos  $m^{-2}$  mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $P>0.05$ ). Ésta fue menor en el tratamiento testigo (T4), correspondiente al suelo Faozem. Lo anterior ocurrió, como se mencionó anteriormente, debido al exceso de humedad y al sombreado que provocó el cultivo de maíz, lo que favoreció la proliferación de enfermedades fungosas en el cultivo del haba, y al mismo tiempo afectó la emisión de tallo planta  $m^{-1}$  en este cultivo. Por el contrario, T3 con la incorporación de los residuos de cosecha del ciclo anterior al suelo + la dosis de fertilización, tuvo la mayor emisión de tallos y amacollamiento respecto a los demás tratamientos. Los tepetates, sustratos habilitados para la producción agrícola, contenían alrededor de 30% de la fracción arcillosa, por lo cual la retención de humedad fue menor, con respecto al tratamiento testigo (T4), donde el suelo arcilloso retuvo mayor cantidad de humedad. El sombreado en el cultivo de haba ocasionado por las plantas de maíz en T1, T2 y T3, también fue menor comparado con T4, porque las plantas de tuvieron un menor crecimiento, como se explicará más adelante. El mayor desarrollo del cultivo de haba se observó en T3, lo cual evidencia un efecto positivo por la incorporación de los residuos de cosecha. En el segundo año de cultivo, ésta especie, asociada con maíz y frijol, el cual es de porte bajo, tuvo mayor exposición a la luz solar, mejor desarrollo, menor incidencia de plagas y enfermedades, y por lo tanto mayor producción de grano, comparado con las condiciones del presente ciclo de cultivo (Báez *et al.*, 1997a). El principal propósito de la asociación de gramíneas con leguminosas en estos experimentos, fue propiciar el ingreso constante de nitrógeno en el suelo por efecto de la fijación biológica a través de las bacterias del género *Rhizobium*. Como se expuso anteriormente, los tepetates roturados son sustratos cultivables carentes en la disponibilidad de este nutrimento, y para favorecer la producción de

maíz bajo condiciones de temporal es necesario buscar opciones de suministro, además del que se adiciona mediante fertilizantes químicos. Por otra parte, el mejoramiento en la fertilidad del substrato roturado, en un mediano plazo, requiere del constante ingreso de residuos orgánicos y del uso de especies que promuevan y estimulen la actividad biológica en el suelo (Álvarez, 2002).

**Altura de planta.** El crecimiento del cultivo de haba fue semejante ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos que se establecieron sobre el tepetate cultivado. La altura de planta fue significativamente menor en T4, tratamiento testigo, por las mismas razones que se explicaron anteriormente. Nuevamente T3, con la incorporación de los residuos de cosecha tuvo el mayor crecimiento de planta en promedio en este cultivo (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Componentes de rendimiento en cultivo de haba asociado con maíz. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Terraza	Número		Días 50% flor	No. vainas m <sup>-2</sup>	IA.	Rendimiento			
		Plantas m <sup>-2</sup>	tallos				Altura cm	Grano t ha <sup>-1</sup>	B t ha <sup>-1</sup>	IC
1	T4	1.40a	4.96b	93.33a	1.23a	31.60a	3.56b	0.43ab	1.77a	0.27a
2	T6	1.36a	5.16ab	89.66a	1.36a	26.90ab	3.96ab	0.44ab	1.75a	0.22a
3	T6	1.40a	6.26a	77.33a	1.40a	30.50a	4.46a	0.61a	2.02a	0.28a
4	T7	1.40a	2.93c	95.00a	1.00b	14.23b	2.06c	0.22b	0.82b	0.25a

B: biomasa aérea, IA: índice de amacollamiento, IC: índice de cosecha. Letra iguales son estadísticamente semejantes ( $p < 0.05$ ).

**Número de vainas.** Éste parámetro tiene una influencia directa en el rendimiento de grano de haba. El número de vainas fluctuó entre 27 y 31 vainas m<sup>-2</sup> en los tratamientos con tepetate, y fue significativamente menor ( $P < 0.05$ ) en el tratamiento testigo (T4), correspondiente a la parcela de suelo Faozem, con alrededor de 14 vainas m<sup>-2</sup>, es decir, aproximadamente la mitad de la producción que tuvieron los demás tratamientos. Las condiciones de exceso de humedad y el mayor sombreado que les proporcionaron las plantas de maíz en este tratamiento, afectaron significativamente el desarrollo del cultivo, la proliferación de enfermedades y por lo

tanto la emisión de vainas. La calidad de grano, por lo tanto también fue afectada, ya que se obtuvieron semillas manchadas y más pequeñas en este tratamiento.

**Cuadro 5. Análisis estadístico de las variables evaluadas en maíz y haba. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

<b>Variables en Maíz</b>	Cuadrado medio	Significancia de los tratamientos	Media
Número de plantas m <sup>-2</sup>	0.3408	0.508	3.74
Días a la floración masculina	96.7830	0.007**	97.17
Días a la floración femenina	191.690	0.001**	108.83
Altura de planta (cm)	0.0600	0.055	1.93
Número de mazorcas m <sup>-2</sup>	2.0097	0.067	2.31
Eficiencia	0.1300	0.015*	0.61
Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	1.7119	0.000**	1.24
Biomasa aérea (t ha <sup>-1</sup> )	4.9554	0.070	4.29
Índice de cosecha	0.0067	0.004*	0.26
<b>Variables en Haba</b>			
Número de plantas m <sup>-2</sup>	0.0008	0.979	1.39
Número de tallos m <sup>-2</sup>	5.7933	0.000**	4.83
Amacollamiento	191.22	0.271	88.8
Número de vainas m <sup>-2</sup>	190.72	0.013*	25.80
Altura de planta (cm)	0.0988	0.001**	1.25
Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	0.0750	0.005**	0.43
Biomasa (t ha <sup>-1</sup> )	0.8391	0.001**	1.58
Índice de cosecha	0.0020	0.824	0.26
<b>Variables en Maíz-Haba</b>			
Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	1.2857	0.004**	1.67

\* Significativo, \*\* altamente significativo

**Rendimiento de grano.** La producción de haba mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) por efecto de los tratamientos. El tratamiento T3, con incorporación de fertilizante y los residuos de la cosecha anterior, tuvo el mayor rendimiento de grano (Cuadro 5), alrededor de 28% mayor producción respecto a lo que se obtuvo en T1 y T2. La producción de T4, correspondiente al tratamiento testigo, representó solamente el 25% de lo que produjo T3. T1, con solamente incorporación de estiércol, tuvo una producción semejante ( $p < 0.05$ ) a la obtenida en T2, con sólo de fertilización química. Los resultados sugieren que estos tepetates, acondicionados

para la producción agrícola, requieren de la adición de los dos tipos de fertilizantes para potenciar la producción agrícola, aun después de dos años de cultivo. Los tepetates son suelos poco desarrollados que contienen frágiles agregados, unidades que determinan la estructura física del suelo (Báez et al. 2007b), por lo cual presenta ciertas limitaciones para la nutrición de los cultivos y la conductividad hidráulica y la retención de humedad (Prat et al, 2003; Etchevers et al. 1992b).

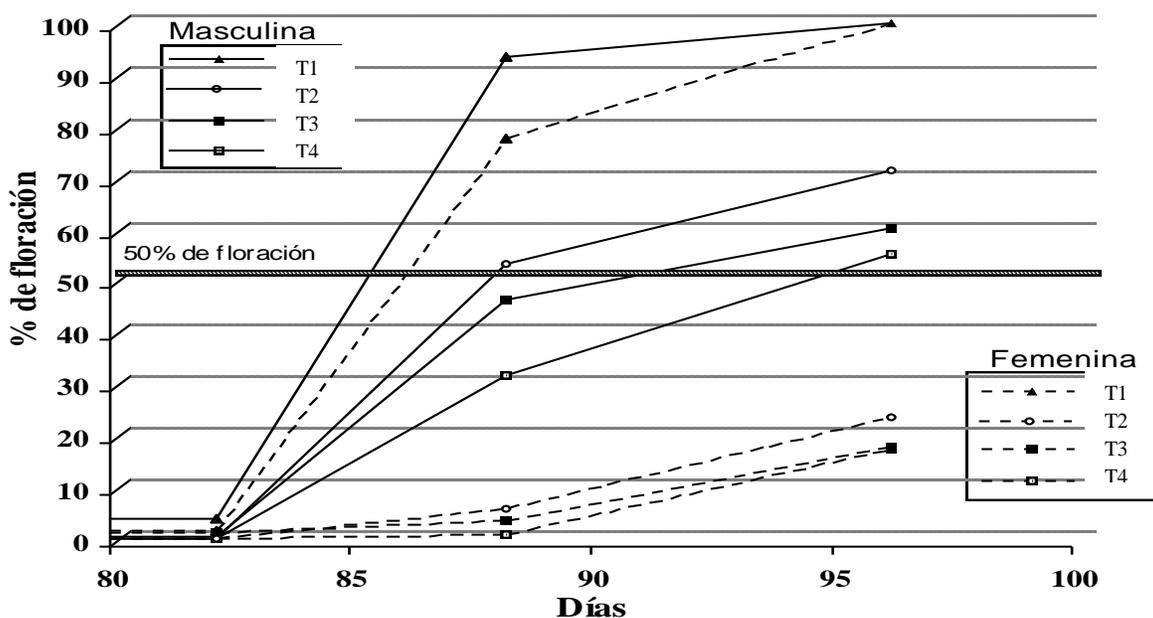
Varios estudios han mostrado que el haba (*Vicia faba* L.) y otras leguminosas como: ayocoye (*Phaseolus coccineus* L.) y la veza (*Vicia sativa* L.) se desarrollan bien en tepetates recientemente roturados. En el caso de los cultivos de haba y ayocote pueden tener rendimientos mayores a  $1 \text{ t ha}^{-1}$  cuando se siembran en monocultivo, en condiciones de temporal (Márquez et al., 2002), y  $0.5 \text{ t ha}^{-1}$  cuando se siembran en asociación con maíz (Báez et al. 1997). Los agricultores de Tlaxcala y el Estado de México, que practican la agricultura de subsistencia suelen sembrar policultivos para asegurar el éxito en la producción de alguna de las especies, ya que frecuentemente las condiciones meteorológicas son las que limitan o favorecen las condiciones de producción agrícola (Báez et al. 2007a).

**Biomasa aérea.** Ésta tuvo un comportamiento semejante a lo explicado anteriormente. T3 tuvo la mayor producción de materia seca, con alrededor de  $2 \text{ t ha}^{-1}$ . La menor producción se obtuvo en T4 por todo lo que se explicó anteriormente. Menor crecimiento, menor amacollamiento y menor producción de grano necesariamente implica menor producción de biomasa aérea.

**Índice de cosecha.** Éste fue semejante ( $p < 0.05$ ) en todos los tratamientos y fluctuó entre 0.22 y 0.27. Especies como el haba y frijol, antes de la senescencia comienzan a tirar las hojas. No fue posible recolectar todo el material seco correspondiente a las hojas. Se hizo una estimación de que hubo una pérdida de 8% del peso. Sin embargo, todos los tratamientos son comparables porque estuvieron en las mismas circunstancias.

### 5.3. Variables agronómicas en maíz

**Días al 50% de floración masculina y femenina en maíz.** En el cultivo de maíz la variable días al 50% de floración masculina (FM) no hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 6). El tratamiento testigo (T4), donde el cultivo tuvo un mayor desarrollo, la FM fue 14% más anticipada que los demás tratamientos. La variable días al 50% de floración femenina (FF) tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, en este mismo tratamiento la FF fue 16% más anticipada respecto a los tratamientos con tepetate. La diferencia de días que hubo entre FM y FF fue más estrecha en T2, T3 y T4 con apenas 4 o 5 días, mientras que en T1, donde se incorporó el estiércol de bovino, la FM y FF fueron más tardías, y la diferencia entre ambas fue de 10 días (Figura 10). A los 95 días después de la siembra en el tratamiento testigo (T4) ambas floraciones llegaron al 100%, mientras que en los otros tratamiento éstas fueron aun muy distantes. Lo anterior necesariamente influye en la polinización, y por lo tanto en el rendimiento de grano.



**Figura 12. Floración masculina y femenina en maíz azul asociado con haba. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

**Número de plantas  $m^{-2}$ .** La población de plantas en el cultivo de maíz fluctuó, en promedio, de 3.3 a 4.1 planta  $m^{-2}$ . A pesar de ello no hubo diferencias significativas

( $p > 0.05$ ) entre tratamientos, lo cual indica que el grado de heterogeneidad en la siembra es tolerable dentro del error experimental (Cuadro 6).

**Altura de planta.** El crecimiento de las plantas de maíz fluctuó en promedio de 1.76 a 2.06 m. Sin embargo, estadísticamente las alturas de planta fueron semejantes. Este es un parámetro que se relaciona con la producción de biomasa aérea. Cabe señalar que no necesariamente debe relacionarse con el rendimiento de grano.

**Número de mazorcas  $m^2$ .** Este parámetro se relaciona directamente con el rendimiento de grano. El número de mazorca por unidad de superficie fue menor la población promedio de plantas, lo cual indica que no todas lograron desarrollar mazorcas con grano. T4 fue el tratamiento que produjo mayor número de mazorca  $m^2$ . Lo anterior puede explicarse por dos principales razones: la primera por condiciones de estrés ocasionadas por cuestiones climáticas, que sin duda fueron más marcadas en los tratamientos establecidos sobre los tepetates cultivados. T4, que se desarrollo sobre el suelo Faozem con mayor capacidad de retención de humedad, tuvo menos estrés comparado con los demás tratamientos. La segunda se debe al desfase que hubo entre la floración femenina y masculina que se explicó anteriormente, la cual fue más mayor en T1, T2 y T3. Finalmente este desfase puede deberse también a una situación de estrés hídrico, común en la agricultura de temporal.

**Cuadro 6. Componentes de rendimiento en cultivo de maíz asociado con haba. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Tratam.	No. Plantas $m^{-2}$	Días a la floración		Altura planta cm	No. maíz. $m^{-2}$	Efic.	Rendimiento		IC
		M	F				grano $t ha^{-1}$	biomasa $t ha^{-1}$	
T4	3.30a	104.5a	114.3a	1.76a	2.1a	0.60ab	0.58b	3.64a	0.23b
T6	4.10a	96.3ba	110.7a	2.03a	1.6a	0.40b	0.96b	3.58a	0.21b
T6b	3.70a	97.2ba	111.2a	2.06a	2.0a	0.56ab	1.09ba	3.73a	0.26b
T7	3.86a	90.7b	96.4b	1.86a	3.5a	0.90a	2.33a	6.22a	0.32a

M: masculina, F: femenina, Efic.: eficiencia, G: grano, B: biomasa, IC: índice de cosecha. Letras iguales son estadísticamente semejante ( $p < 0.05$ ).

**Rendimiento de grano.** Este parámetro mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) por efecto de los tratamientos. La mayor producción de maíz se tuvo en T4, correspondiente al suelo de referencia, con más de  $2.3 \text{ ton ha}^{-1}$ . Este rendimiento fue más del doble que lo obtenido en T2 y T3, y cuatro veces mayor a T1, donde se incorporaron el estiércol de bovino y los residuos de cosecha del ciclo anterior, pero no se adicionó fertilizante químico. En este último la disponibilidad de nitrógeno (N) para el cultivo pudo estar limitada por el fenómeno de inmovilización, aprovechamiento del N por los microorganismos descomponedores. Para la degradación del estiércol semihúmedo y los residuos de paja, los microorganismos del suelo compiten con el cultivo por el N disponible. Éste queda temporalmente inaccesible para las plantas, hasta que la relación C/N de los residuos orgánicos es alrededor de 30. Por lo tanto el efecto de este tipo de fertilizantes orgánicos es residual. Sin embargo, se requiere de una continua incorporación de residuos orgánicos al suelo para los ciclos subsecuentes, ya que de lo contrario este efecto residual de los abonos orgánicos se diluye en la masa del suelo y su efecto en la nutrición de los cultivos y en el mejoramiento de la fertilidad del suelo pararía casi inadvertido. De acuerdo a estos resultados es necesario, para la producción de maíz, el empleo de los fertilizantes químicos en estos tepetates cultivados, para asegurar la disponibilidad de al menos nitrógeno y fósforo.

Las condiciones edáficas, en el presente ensayo, fueron más favorables para el desarrollo del cultivo de maíz en T4, correspondiente al suelo Faozem. La labor de subsoleo que se hizo durante la preparación del terreno, favoreció la permeabilidad y aireación, lo cual se reflejó en el rendimiento de grano. Los tepetates, estrictamente hablando, no son suelos desarrollados, sino sustratos artificiales acondicionados para la producción agrícola (Báez et al. 2007b). Por lo anterior éstos presentan restricciones físicas y químicas para el desarrollo de los cultivos. Estas últimas pueden ser subsanadas con la adición de fertilizantes; sin embargo, el mejoramiento de la estructura física es paulatino y está en función de la formación de agregados (Báez et al. 2007b). Un agregado se define como la agrupación de partículas del suelo por aglutinantes orgánicos como: polisacáridos gomosos, exudados radicales,

glomulina y otras sustancias carbonáceas (Oades 1988); e inorgánicos como: óxidos de hierro y aluminio, arcillas y carbonatos de calcio (Hidalgo, 1995). Los agregados son las unidades fundamentales de la estructura física del suelo.

El tepetate del presente estudio corresponde a un sustrato de tercer año de cultivo, por lo cual su estructura física está pobremente desarrollada. Una de las problemáticas que presenta es el encostramiento superficial, el cual limita la infiltración de agua y la aireación, lo cual repercute en el desarrollo de los cultivos (Lauffer *et al.*, 1997). Estas condiciones afectan significativamente el cultivo de maíz, y generalmente en tepetates recientemente roturados este cultivo no tiene éxito. Es por ello que no se recomienda durante los primeros años de cultivo. Sin embargo, la asociación de maíz con alguna leguminosa, después de uno o dos años de cultivo ofrece mayores posibilidades de éxito (Báez *et al.*, 2007a).

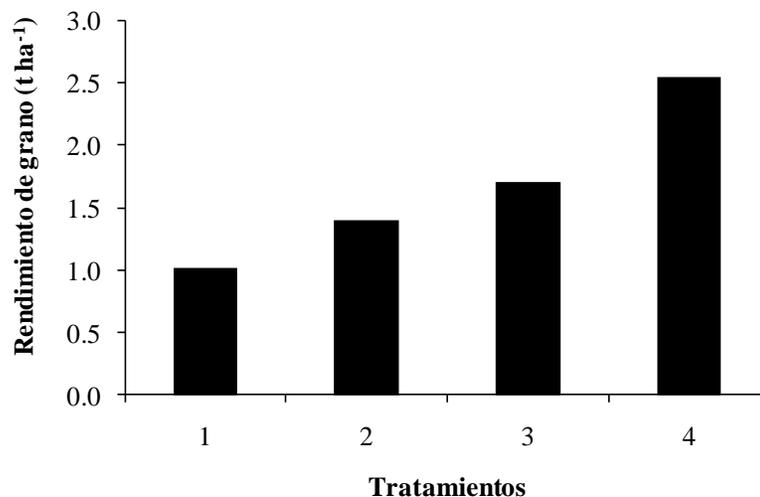
**Biomasa aérea.** La mayor producción se obtuvo en T4, con más de 6 ton ha<sup>-1</sup>, cerca del doble a lo que se produjo en los demás tratamientos. El comportamiento fue semejante a lo explicado en la variable rendimiento de grano. Cabe señalar que T1, T2 y T3, tuvieron mayor altura de planta en promedio respecto a T4, es decir, que produjeron mayor paja; sin embargo la producción de grano fue menor.

**Índice de cosecha.** La relación que hubo entre el rendimiento económico (rendimiento de grano) y el rendimiento biológico (biomasa aérea) también fue mayor en T4, la cual fue de 0.32. En los demás tratamientos ésta fluctuó entre 0.21 y 0.26. Lo anterior indica que el cultivo produjo mayor cantidad de paja en relación con la producción de grano. Evidentemente T4 tuvo condiciones más favorables en el desarrollo del cultivo.

#### **5.4. Variables agronómicas en haba - maíz**

**Rendimiento total de grano.** La producción total de grano más alta se obtuvo en T4, tratamiento correspondiente al suelo de referencia, con más de 2.5 t ton

ha<sup>-1</sup>. Éste fue más de 2.5 veces mayor respecto a T1, con sólo adición de abonos orgánicos. T2 y T3 tuvieron un rendimiento de grano alrededor de 35 y 50% menor a T4, respectivamente (Figura 11). Estos resultados muestran que estos tepetates acondicionados para la producción agrícola, después de tres años de cultivo, aún presentan restricciones para el desarrollo potencial de los cultivos. Al respecto substancial de los tepetates Navarro (1998) mencionó que para la producción de maíz, un mejoramiento cultivado que permita una producción semejante a lo que se obtendría en suelos bajo las mismas condiciones, tendrían que pasar al menos 5 años de cultivo continuo. Báez *et al.* (2007) sugieren que el empleo de fertilizantes químicos es imprescindible para favorecer el desarrollo de los cultivos sobre tepetates que han sido acondicionados para la producción agrícola.



**Figura 13. Rendimiento total de grano (maíz-haba). Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos e hipótesis planteadas se tienen las siguientes conclusiones:

- La incorporación de abonos orgánicos en los tepetates cultivados debe ser complementada con la adición de fertilizantes químicos, para asegurar una mayor disponibilidad de nutrimentos para los cultivos.
- Para tener una mejor respuesta en el suministro de abonos orgánicos para la producción agrícola, es necesario incorporar abonos bien descompuestos, de ser posible con una relación C/N de 30:1, para asegurar una disponibilidad inmediata del nitrógeno. De lo contrario durante los procesos naturales de descomposición los microorganismos compiten con el cultivo por N disponible y su efecto es residual y no inmediato.
- La incorporación de residuos de cosecha favorece la acumulación de reservas orgánicas en el suelo. Sin embargo, en estos tepetates con escasa materia orgánica la cantidad de residuos incorporados fue insuficiente para mostrar efecto en un ciclo de cultivo. Por eso la importancia de la adición de fertilizantes químicos.
- Los resultados muestran que estos tepetates habilitados para la producción agrícola, después de tres años de cultivo, son productivos; sin embargo, aun presentan algunas restricciones físico-químicas que con los años de cultivo van mejorando paulatinamente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Arias R., H. M.** 1992. Dinámica Rehabilitación de tepetates: una alternativa para la producción agropecuaria y forestal. *Terra* 10 (Número especial): 309-317.
- Álvarez D., J.** 1992. Análisis de la microflora asociada al manejo agroecológico en la recuperación de tepetates. *Terra* 10 (Número especial). pp: 419
- Álvarez D., J., R. Ferrera-Cerrato. y J. D. Etchevers B.** 2000. Actividad microbiana en tepetates con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34:523-532.
- Báez, A.** 1998. Capacidad productiva de un tepetate recién roturado y terraceado, cultivado con cebada y veza en condiciones de temporal. Tesis de licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. Universidad Nacional Autónoma de México. pp.36-56.
- Báez, A., E. Ascencio Z., C. Prat y A. Márquez,** 1997. Análisis del comportamiento de cultivos en tepetate t3 incorporado a la agricultura de temporal, Texcoco, México, pp. 296-310. *In:* C. Zebrowski, P Quantin, y G. Trujillo, (eds.). Tercer Simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos. ORSTOM. Quito, Ecuador.
- Báez, A., J. D. Etchevers, C. Prat, A. Márquez y E. Ascencio-Zapata.** 2007a. Manejo agronómico de los suelos endurecidos (tepetates) del eje neovolcánico de México. *In:* La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. Gallardo-Lancho, J. (ed.). Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca, España, pp: 69-84.
- Báez, A., J. D. Etchevers, C. Prat, and C. Hidalgo.** 2007b. Formation of aggregates and carbon sequestration in ameliorated tepetates in the Río Texcoco basin, Mexico. *Rev. Mex. Ciencias Geol.* 24: 487-497.
- Báez-P., A., J. D. Etchevers B., C. Hidalgo M., C. Prat, V. Ordaz C. y R. Núñez E.** 2002. C orgánico y P-Olsen en tepetates cultivados de México. *Agrociencia.* 36:643-653.

- Benítez D. y H. Navarro** 1997. Rendimiento de maíz-frijol en un tepetate de segundo año de rehabilitación agrícola, *pp.* 279-286. *In:* C. Zebrowski, P Quantin, y G. Trujillo (eds.) Tercer Simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos. ORSTOM. Quito, Ecuador.
- Covaleda, S., S. Pajares, M Haulon, J. F. Gallardo, J. D. Etchevers, G. Werner y S. Marinari.** 2007 Secuestro de C en tepetates rehabilitados para el uso agrícola en el estado de Tlaxcala (México). *In:* La captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. Gallardo-Lancho, J. (ed.). Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca, España, pp: 123-147.
- Dubroeuq, D.** 1992. Los tepetates de la región de Xalapa, Veracruz (México): un endurecimiento de tipo pedológico. *Terra* 10 (número especial). pp: 233-240.
- Dubroeuq, D., Quantin, P. y Zebrowski, C.** 1989. Los tepetates de origen volcánico en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México. *in:* terra 7. pp. 4-12.
- Etchevers B., J. D., R. M. López, C. Zebrowsky y D. Peña.** 1992a. Fertilidad de los tepetates de la vertiente occidental de la sierra nevada (México). *Terra* 10 (Número especial). 379-384.
- Etchevers B., J. D., R. M. López, C. Zebrowski y D. Peña.** 1992b. Características químicas del tepetate de referencia de los estados de México y Tlaxcala, México. *Terra* 10 (Número especial). pp: 171.
- Etchevers B., J. D. y H. Brito.** 1997. Levantamiento nutrimental de los tepetates de México y Tlaxcala. *In:* Tercer simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos. Zebrowski, C., Quantin, P y Trujillo, G. (eds.). ORSTOM. Quito, Ecuador. pp: 202-212
- Etchevers, J. D., C. Hidalgo, C. Prat y P. Quantin.** 2006. Tepetates of Mexico, *pp.* 1745-1748. R. Lal (ed.) Encyclopedia of Soil Science, Volume 2. Second edition. CRC/Marcel Dekker, Inc. New York, NY.
- FAO.** 2009. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567> (consulta 10/10/2009)

- Ferrera-Cerrato., R.** 1992. Papel de los microorganismos en la recuperación de suelos marginales. *Terra* 10 (Número especial): 408-414.
- Ferrera-Cerrato., R., A. Ortiz, J. Delgadillo y S. Santamaría.** 1997. Uso de la materia orgánica en la recuperación de tepetates y su influencia en los microorganismos, *pp.* 225-237. *In:* C. Zebrowski, P Quantin, y G. Trujillo, (eds.). Tercer simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos. ORSTOM. Quito, Ecuador.
- Flach, K.W. W.D. Nettleton, O.A. Chadwick.** 1992. The criteria of duripans in the U.S. Soil Taxonomy and the contribution of micromorphology to characterize silica indurated soil. *Terra* 10 (número especial): 178-182.
- García, E.** 1984. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, *pp:* 16-21.
- Galvis S., A., J. D. Etchevers B., J Rodríguez S., L. Aceves N, C. Ortiz S.** 1992. Validación de normas de fertilización generadas por un modelo simplificado. *Agrociencia*, serie Agua-Suelo-Clima 2 (4): 19-31.
- Guerrero-Eufracio, E. G., J. L. Luna y E. Caballero.** 1992. Distribución de los tepetates de la República Mexicana escala 1:4,000,000. *Terra* 10 (Número especial):131-136.
- Hernández X., E.** 1987. Etnobotánica de Tlaxcala, *pp.* 1-8. *In:* Ruiz F., F. (ed.) Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
- Hidalgo M., C., P. Quantin, y C. Zebrowski,** 1992. La cementación de los tepetates: Estudio de la silicificación. *Terra* 10 192-200.
- Hidalgo M., C.** 1995. Étude d'e horizons indurés à comportement de fragipan, appelés tepetates, dans les sols volcaniques de la vallée de México. Tesis doctoral. Paris, Francia.
- Hidalgo M., C.** 1996. Étude d'horizons indurés à comportement de fragipan, appelés *tepetates*, dans le sol volcaniques de la valleé de Mexique. Contribution à la connaissance de leurs caracteres et de leur formation. TDM 146. ORSTOM editions, Paris, France.

- Hidalgo, C., J. D. Etchevers, A. Martínez-Richa, H. Yee-Madeira, H. A. Calderon, R. Vera-Graziano, and F. Matus.** 2010. Mineralogical characterization of the fine fraction (<2  $\mu\text{m}$ ) of degraded volcanic soils and tepetates in Mexico. *Applied Clay Science* 49:348-358.
- Lal, R.** 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1624-1627.
- Lauffer, M., Y. Leroux, C. Prat y J. L. Janeau.** 1997. Organización superficial de los tepetates cultivados, Texcoco (México), *pp.* 443-456. *In:* C. Zebrowski, P. Quantin, y G. Trujillo (eds.) Tercer Simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos. ORSTOM. Quito, Ecuador.
- Márquez, R. A., Navarro G., H. y C. Zebrowski.** 1992. Alternativas agronómicas para la recuperación de tepetates. *Terra* 10 (Número especial): 465-473.
- Miehlich, G.,** 1992. Formation and properties of tepetate in the central highlands of Mexico. *Terra* 10 (Número especial): 136-144.
- Navarro G., H. y C. Zebrowski.** 1992. Análisis agronómico comparativo en tepetates. *Terra* 10 (Número especial): 454-459.
- Navarro G., H y D. Flores S.** 1997. Manejo agronómico diferencial de la asociación maíz-haba en tepetate de quinto año de uso agrícola, *pp.* 287-295 *In:* C. Zebrowski, P. Quantin, y G. Trujillo (eds.) Tercer Simposio Internacional: Suelos Volcánicos y Endurecidos. ORSTOM. Quito, Ecuador..
- Navarro, G.** 1997. Potencialidades agronómicas y sistemas rotacionales para la recuperación de los suelos volcánicos endurecidos, *pp.* 37-59. *In:* G. Navarro, H. Poupon y M. A. Pérez. (Eds.). Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Nimlos, T.** 1987. La nomenclatura de los horizontes endurecidos en los suelos de ceniza volcánica. *In:* Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural. Ruiz F., F. (ed.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México. *pp:* 11-18.
- Oades, J. M.** 1988. The retention of organic matter in soils. *In:* *Biogeochemistry* 5:35-70

- Ortiz, S.** y C. Cuanalo. 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México. pp. 12-14.
- Ortiz S., C. A. y Ma. del C. Gutiérrez C.,** 1999. Evaluación taxonómica de sistemas locales de clasificación de tierras. *Terra* 17(4): 277-286.
- Peña, D. y C. Zebrowski,** 1992. Los suelos y tepetates de la vertiente occidental de la Sierra Nevada. *Terra* 10 (Número especial):151-155.
- Peña, D. y C. Zebrowski,** 1993. Estudio de los suelos volcánicos endurecidos de las cuencas de México y Tlaxcala. Informe de Mapa Morfopedológico de la Vertiente Occidental de la Sierra Nevada. Anexo 2: Descripción de perfiles. Contrato CCE/ORSTOM No. 0212. pp: 1-16.
- Prat, C. y A. Báez.** 1998. Condiciones de habilitación agrícola de una toba volcánica endurecida (*tepetate*) en México. *In:* 16 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Registro científico no. 2547, simposio no. 38 (CD-ROM). Montpellier, Francia.
- Prat, C., A. Báez, E. Ascencio y A. Márquez** 1998. Erosión de una toba volcánica endurecida en proceso de rehabilitación., pp. 89-98. *In:* G. Navarro, H. Poupon y M. A. Pérez. (Eds.). Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetates). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Prat, C., V. Ordaz. y J.A. Rugama.** 2003. Impacto de la roturación y del manejo agronómico de un tepetate sobre su estructura. *Terra Latinoamericana.* 21:109-115.
- Population Reference Bureau.** 2009. <http://www.prb.org>. (Consulta 10/10/2009).
- Quantin, P., H. Arias, J. D. Etchevers, R. Ferrera-Cerrato, K. Olechko, H. Navarro, G. Wernern y C. Zebrowski.** 1993. Tepetates de México: Caracterización y habilitación para la agricultura: *Terra* 11:33-34.
- Quantin, P.** 1992. L'Induration des matériaux volcaniques pyroclastiques en Amérique Latine: Processus géologiques et pédologiques. *In:* Primer Simposio Internacional: Suelos Volcánicos Endurecidos (Uso y manejo de tepetates). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. *Terra* 10 (Número especial). pp: 24-32.

- Ruíz F., J. F.** 1979. Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de ladera de la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencia del Colegio de Postgraduados. Montecillos México. pp: 8-21.
- SEMARNAT.** (2002). Memoria nacional de evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana escala 1:250 000. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México, pp: 26-34.
- SIAP.** 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Estadísticas anuales sobre producción agrícola. <http://www.siap.gob.mx/>.
- Swift, R. S.** 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Science* 166:858-871.
- Soil Survey Staff.** 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *In: Soil Conservation service USDA. Agriculture Handbook.* pp: 754.
- Tisdall, J. and J. Oades.** 1982. Organic matter and water-stable aggregates. *Journal of Soil Science* 33:141-163.
- Werner, G.** 1992. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra* 10 (Número especial): 318-331.
- United States Department of Agriculture (USDA).** 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second Edition.
- Valdez-Marín, L.A.,** 1970. Características morfológicas y mineralógicas de los suelos de tepetate de la cuenca de México. *In: Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.* pp: 15-18.
- Vera R. y R. López.** 1992. Tipología de los la Cangahua. *Terra* 10 (Número especial): 113-119.
- Werner, G.** 1992. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: Distribución, rehabilitación, manejo y conservación. *Terra* 10 (Número especial). pp: 318-331.
- Williams B.J.** 1972. Tepetates in the Valley of Mexico. *Annals Assoc. Am. Geographers* 62:618-626.
- Williams, B. J.** 1992. "Tepetate" in 16th century and contemporary folk terminology, valley of México. *Terra*, 10 (número especial), pp. 483-492.

**Zebrowski, C.** 1992. Los suelos volcánicos endurecidos de América Latina. Terra 10  
(Número especial): 15-23.

## 8. ANEXOS

**Anexo 1. Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 1, con adición de estiércol y los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de				amac.	altura cm	Peso de grano t ha <sup>-1</sup>	cien granos g	Peso de biomasa t ha <sup>-1</sup>	IC
	matas	plantas	tallos	vainas						
	m <sup>-2</sup>									
1	1.7	1.7	4.2	38.4	2.5	1.1	0.5	10.8	1.1	0.38
1	1.3	1.3	5.7	21.6	4.3	1.3	0.3	9.4	1.7	0.21
1	1.3	1.3	4.5	27.3	3.4	1.2	0.3	11.5	1.1	0.24
1	1.3	1.3	8.6	63.7	6.6	1.4	1.0	11.6	2.0	0.37
1	1.3	1.3	2.8	29.3	2.2	1.1	0.4	11.1	1.0	0.30
1	1.3	1.3	3.5	29.6	2.6	1.2	0.5	11.9	1.0	0.36
1	1.3	1.3	4.3	30.8	3.2	1.2	0.5	11.3	1.3	0.31
1	1.5	1.5	5.7	23.7	3.9	1.3	0.4	12.1	1.6	0.21
<b>Promedio</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>4.9</b>	<b>33.1</b>	<b>3.6</b>	<b>1.2</b>	<b>0.5</b>	<b>11.2</b>	<b>1.3</b>	<b>0.27</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>3.2</b>	<b>178.9</b>	<b>1.9</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>
<b>C.V.</b>	<b>10.3</b>	<b>10.3</b>	<b>36.5</b>	<b>40.5</b>	<b>38.8</b>	<b>8.8</b>	<b>43.1</b>	<b>7.3</b>	<b>27.2</b>	<b>32.4</b>

**Anexo 2. Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 2, con adición de fertilizante químico e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de				amac.	altura cm	Peso de grano t ha <sup>-1</sup>	cien granos g	Peso de biomasa t ha <sup>-1</sup>	IC
	matas	plantas	tallos	vainas						
	m <sup>-2</sup>									
2	1.2	1.2	4.8	25.3	4.1	1.3	0.5	12.1	1.2	0.32
2	1.3	1.3	3.2	9.5	2.6	1.4	0.2	11.5	0.6	0.22
2	1.4	1.4	7.9	33.4	5.5	1.3	0.6	11.6	1.6	0.29
2	1.2	1.2	4.8	33.9	4.1	1.4	0.6	12.2	1.5	0.31
2	1.5	1.5	5.4	29.8	3.7	1.4	0.2	11.3	1.5	0.08
<b>Promedio</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>5.2</b>	<b>26.4</b>	<b>4.0</b>	<b>1.4</b>	<b>0.4</b>	<b>11.8</b>	<b>1.3</b>	<b>0.22</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>1.7</b>	<b>10.1</b>	<b>1.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.1</b>
<b>C.V.</b>	<b>11.4</b>	<b>11.4</b>	<b>32.7</b>	<b>38.1</b>	<b>26.4</b>	<b>5.1</b>	<b>55.2</b>	<b>3.4</b>	<b>31.0</b>	<b>41.1</b>

**Anexo 3. Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 3, con adición de sólo fertilizante químico. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de				amac.	altura cm	Peso de grano t ha <sup>-1</sup>	cien granos g	Peso de biomasa t ha <sup>-1</sup>	IC
	matas	plantas	tallos	vainas						
3	1.3	1.3	6.0	26.6	4.6	1.3	0.5	12.1	1.6	0.25
3	1.6	1.6	8.4	33.4	5.4	1.5	0.6	13.0	1.6	0.27
3	1.4	1.4	4.6	26.7	3.2	1.3	0.5	12.4	1.2	0.31
3	1.4	1.4	6.3	34.8	4.5	1.5	0.6	11.3	1.6	0.30
<b>Promedio</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>6.3</b>	<b>30.4</b>	<b>4.4</b>	<b>1.4</b>	<b>0.6</b>	<b>12.2</b>	<b>1.5</b>	<b>0.28</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>1.6</b>	<b>4.3</b>	<b>0.9</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>
<b>C.V.</b>	<b>7.5</b>	<b>7.5</b>	<b>25.2</b>	<b>14.2</b>	<b>20.3</b>	<b>8.3</b>	<b>8.8</b>	<b>5.7</b>	<b>12.0</b>	<b>9.7</b>

**Anexo 4. Componentes de rendimiento para el cultivo de haba correspondiente al tratamiento 4, con adición de fertilizante químico e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior en el suelo de referencia. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de				amac.	altura cm	Peso de grano t ha <sup>-1</sup>	cien granos g	Peso de biomasa t ha <sup>-1</sup>	IC
	matas	plantas	tallos	vainas						
4	1.2	1.2	1.6	4.3	1.3	0.7	0.1	9.5	0.3	0.17
4	1.4	1.4	2.5	5.3	1.8	0.8	0.1	10.0	0.4	0.15
4	1.4	1.4	3.7	22.7	2.6	1.3	0.4	13.6	0.8	0.34
4	1.0	1.0	2.5	16.7	2.6	0.8	0.3	0.0	1.1	0.22
4	1.4	1.4	1.8	25.1	1.3	1.2	0.4	13.2	0.7	0.46
4	1.4	1.4	3.2	12.6	2.2	1.1	0.1	9.7	0.6	0.17
4	1.5	1.5	4.8	25.1	3.1	1.2	0.4	12.4	0.8	0.38
4	1.7	1.7	3.0	12.0	1.8	1.1	0.2	12.1	0.6	0.21
<b>Promedio</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>2.9</b>	<b>15.5</b>	<b>2.1</b>	<b>1.0</b>	<b>0.2</b>	<b>10.1</b>	<b>0.7</b>	<b>0.25</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>1.0</b>	<b>8.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>	<b>4.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.1</b>
<b>C.V.</b>	<b>15.6</b>	<b>15.6</b>	<b>35.5</b>	<b>54.0</b>	<b>30.9</b>	<b>20.2</b>	<b>59.1</b>	<b>43.4</b>	<b>36.4</b>	<b>43.9</b>

**Anexo 5. Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 1, con adición de estiércol e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de			días al		Altura Planta	Peso de grano	Peso de Biomasa		IC
	matas	plantas	mazorcas	50% floración				paja	aérea	
	m <sup>-2</sup>			masculina	femenina	t ha <sup>-1</sup>				
1	1.3	2.1	1.4	110	118	1.4	0.4	1.7	2.1	0.20
1	1.8	3.4	2.5	112	121	1.6	0.9	3.0	3.8	0.23
1	1.6	3.6	0.4	102	111	1.9	0.9	3.5	4.4	0.21
1	1.6	2.9	1.6	105	112	1.8	0.9	2.9	3.8	0.23
1	1.4	2.9	1.5	99	109	1.9	0.7	1.9	2.5	0.27
1	1.3	3.0	1.6	110	118	1.9	0.4	1.6	2.0	0.22
1	1.6	4.6	3.3	102	111	1.7	1.4	3.7	5.0	0.28
1	1.8	3.5	2.7	96	110	2.0	0.9	3.6	4.5	0.21
<b>Promedio</b>	<b>1.5</b>	<b>3.3</b>	<b>1.9</b>	<b>104.3</b>	<b>113.9</b>	<b>1.8</b>	<b>0.8</b>	<b>2.7</b>	<b>3.5</b>	<b>0.2</b>
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>33.9</b>	<b>20.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.8</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.2</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>5.8</b>	<b>4.5</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>0.0</b>
<b>C.V.</b>	<b>12.1</b>	<b>22.0</b>	<b>46.9</b>	<b>5.6</b>	<b>4.0</b>	<b>11.5</b>	<b>38.2</b>	<b>32.4</b>	<b>33.0</b>	<b>12.3</b>

**Anexo 6. Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 2, con adición de fertilizante químico e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de			días al		Altura Planta	Peso de grano	Peso de Biomasa		IC
	matas	plantas	Maz.	50% floración				paja	aérea	
	m <sup>-2</sup>			masculina	femenina	t ha <sup>-1</sup>				
2	1.7	4.2	1.6	97	110	2.0	0.7	2.2	2.9	0.25
2	1.3	3.6	1.4	97	113	2.2	0.7	1.6	2.2	0.31
2	1.6	4.6	1.4	104	115	2.1	0.6	4.1	4.7	0.13
2	1.3	4.5	1.3	99	112	2.0	0.9	3.8	4.6	0.19
2	1.8	3.9	1.9	92	109	2.0	0.8	3.3	4.0	0.19
<b>Promedio</b>	<b>1.5</b>	<b>4.2</b>	<b>1.5</b>	<b>97.9</b>	<b>111.7</b>	<b>2.0</b>	<b>0.7</b>	<b>3.0</b>	<b>3.7</b>	<b>0.2</b>
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.0</b>	<b>13.3</b>	<b>4.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.9</b>	<b>1.0</b>	<b>0.0</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>3.6</b>	<b>2.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>1.0</b>	<b>1.0</b>	<b>0.1</b>
<b>C.V.</b>	<b>13.8</b>	<b>8.4</b>	<b>13.7</b>	<b>3.7</b>	<b>1.9</b>	<b>3.9</b>	<b>10.9</b>	<b>32.5</b>	<b>26.9</b>	<b>28.3</b>

**Anexo 7. Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 3, con adición de sólo fertilizante químico. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de			días al		Altura Planta cm	Peso de grano	Peso de paja t ha <sup>-1</sup>	Biomasa aérea	IC
	matas	plantas	mazorcas	50% floración						
	m <sup>2</sup>			masculina	femenina					
3	1.0	2.6	1.8	100	112	2.1	0.7	1.7	2.4	0.29
3	1.4	4.6	1.4	96	113	2.1	0.8	2.4	3.2	0.26
3	1.3	2.9	1.6	103	114	2.1	1.0	2.4	3.4	0.29
3	1.2	4.8	2.8	92	108	2.0	1.2	4.3	5.5	0.22
<b>Promedio</b>	<b>1.2</b>	<b>3.7</b>	<b>1.9</b>	<b>97.8</b>	<b>112.0</b>	<b>2.1</b>	<b>0.9</b>	<b>2.7</b>	<b>3.6</b>	<b>0.3</b>
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>	<b>1.3</b>	<b>0.4</b>	<b>24.1</b>	<b>6.7</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.8</b>	<b>0.0</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.2</b>	<b>1.1</b>	<b>0.6</b>	<b>4.9</b>	<b>2.6</b>	<b>0.0</b>	<b>0.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>
<b>C.V.</b>	<b>13.6</b>	<b>30.4</b>	<b>33.3</b>	<b>5.0</b>	<b>2.3</b>	<b>1.6</b>	<b>24.3</b>	<b>41.3</b>	<b>36.8</b>	<b>12.0</b>

**Anexo 8. Componentes de rendimiento para el cultivo de maíz correspondiente al tratamiento 4, con adición de estiércol e incorporación de los residuos de cosecha del cultivo anterior en el suelo de referencia. Ciclo primavera-verano de 1995. San Miguel Tlaixpan, Texcoco, Estado de México.**

Trat.	Número de			días al		Altura Planta cm	Peso de grano	Peso de paja t ha <sup>-1</sup>	Biomasa aérea	IC
	matas	plantas	Maz.	50% floración						
	m <sup>2</sup>			masculina	femenina					
4	1.3	3.2	2.8	92	102	1.8	1.1	2.5	3.6	0.32
4	1.5	3.8	3.4	93	100	1.9	2.1	4.3	6.3	0.33
4	1.7	4.7	5.0	90	94	1.8	3.2	6.1	9.2	0.35
4	1.7	4.6	2.5	90	94	2.0	1.4	3.6	4.9	0.29
4	1.7	4.1	6.3	89	95	2.0	4.2	7.6	11.6	0.36
4	1.6	4.1	3.9	90	94	1.9	2.5	4.5	6.9	0.36
4	1.4	3.9	3.2	90	94	2.0	2.1	4.3	6.4	0.33
4	1.4	3.4	2.7	90	94	1.9	1.3	3.5	4.8	0.28
<b>Promedio</b>	<b>1.5</b>	<b>4.0</b>	<b>3.7</b>	<b>90.4</b>	<b>95.9</b>	<b>1.9</b>	<b>2.3</b>	<b>4.5</b>	<b>6.7</b>	<b>0.3</b>
<b>Varianza</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>1.7</b>	<b>1.6</b>	<b>11.0</b>	<b>0.0</b>	<b>1.1</b>	<b>2.5</b>	<b>6.7</b>	<b>0.0</b>
<b>D. estándar</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>3.3</b>	<b>0.1</b>	<b>1.0</b>	<b>1.6</b>	<b>2.6</b>	<b>0.0</b>
<b>C.V.</b>	<b>9.5</b>	<b>13.2</b>	<b>35.0</b>	<b>1.4</b>	<b>3.5</b>	<b>5.2</b>	<b>46.3</b>	<b>35.1</b>	<b>38.7</b>	<b>9.8</b>